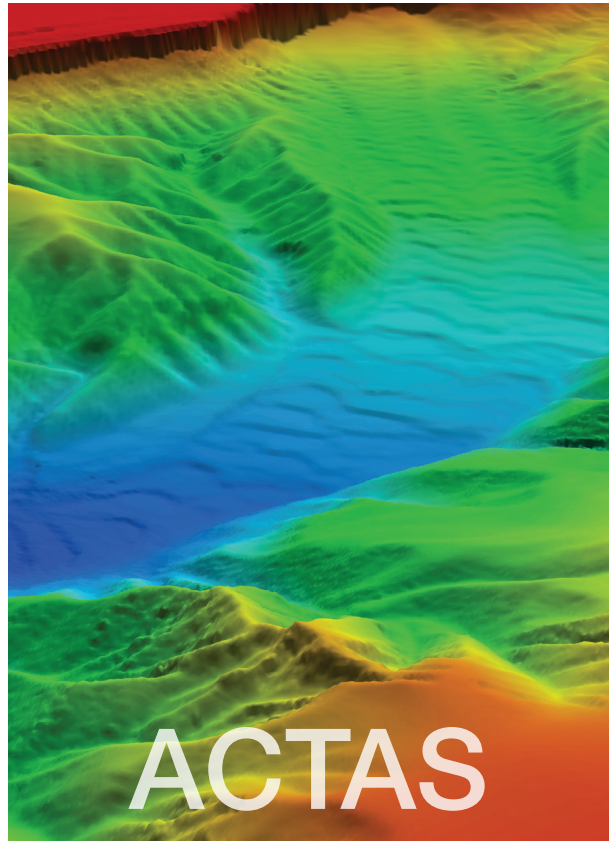


**3.<sup>as</sup> JORNADAS DE  
ENGENHARIA HIDROGRÁFICA**

ACTAS



**3.<sup>as</sup> Jornadas**  
de Engenharia Hidrográfica  
24, 25 e 26 de junho de 2014

Lisboa



**Título** - Actas das 3.<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica

**Autor** - Instituto Hidrográfico

**Tiragem** - 250 exemplares

**Edição e paginação** - Instituto Hidrográfico, 2014

**Impressão e acabamento** - Grafilinha - Trab. Gráficos e Publicitários, Lda.

**ISSBN** - 978-989-705-073-2

**Depósito Legal** n.º 377359/14

# Índice

<b>I. Comissões</b>	<b>9</b>
Honra, Científica e Organizadora	
<b>II. Patrocinadores</b>	<b>11</b>
<b>III. Nota Introdutória</b>	<b>13</b>
<b>IV. Resumos Alargados</b>	<b>15</b>
<b>HIDROGRAFIA</b>	
Benefícios da utilização de sondadores interferométricos J. Cruz, J. Vicente, M. Miranda, C. Marques, C. Monteiro A. Alves	<b>21</b>
Colaboração Hidrográfica Portugal-Espanha C. Monteiro, S. Espinosa, A. Correa, R. Almeida. C. Marques. J. Cruz	<b>25</b>
Integração de Dados LiDAR Batimétrico na Cartografia Náutica A. Moura, P. Sanches, C. Monteiro, M. Silva, A. Mariano	<b>29</b>
Eventos Extremos e a Variação do Nível do Mar C. Antunes	<b>33</b>
A subida do NMM e a necessidade de revisão dos referências verticais C. Antunes	<b>37</b>
Ajustamento local do EGM2008 P. Nunes, J. Vicente	<b>41</b>
O IGeoE e a aquisição tridimensional da rede hidrográfica L. Crispim	<b>45</b>
Posicionamento vertical nos levantamentos hidrográficos (RENEP-SERVIR-Modelos de Geoide) J. Vicente, A. Moura, P. Sanches, P. Nunes, M. Miranda J. Cruz	<b>49</b>
Benefícios da Utilização do Sistema Sondador Multifeixe EM3002 DUAL M. Miranda, J. Vicente, C. Marques, J. Cruz	<b>53</b>
Difusão pela comunidade marítima de informação vital para a navegação A. Lopes, A. Saramago dos Santos, N. Rodrigues, R. Baptista, J. Luís, L. Carneiro	<b>57</b>
Ensino da Hidrografia: conhecer o passado e o presente, olhando o futuro das ciências do mar Zélia Cardoso, João Rodrigues, Ana Luísa Rodrigues, Vítor Capelo, João Marreiros	<b>61</b>
A Equipa Hidrográfica de Intervenção Rápida J. Vicente, M. Arenga, C. Marques, M. Miranda. J. Cruz	<b>65</b>
Levantamentos Hidrográficos com Sondador de Feixe Simples V. Capelo, J. Vicente, R. Silva	<b>69</b>
Dinâmica costeira da costa sul da ilha de Pecixe na Guiné-Bissau J. Ruiz, R. Ramos, P. Pery. L. Navarro	<b>73</b>
<b>OCEANOGRAFIA OPERACIONAL</b>	
Advanced Ship Detection Software for Maritime Surveillance A. Radius, J. Ferreira, P. Carmo, P. Marques	<b>79</b>
Advanced Satellite-based Oil Spill Detection A. Radius, R. Azevedo, D. Rego, P. Carmo	<b>83</b>
GNSS-Refletometry and its application on Oceanography R. Castro, T. Peres, J. Carola, J. Silva, J. Bandeiras, P. Silva, N. Catarino	<b>87</b>
A Oceanografia Operacional em Portugal e a sua integração nas organizações internacionais C. Ventura Soares , R. Ribeiro	<b>91</b>



- 95** Improvements on a regional operational oceanographic system  
P. Costa, A. Venâncio, B. Gómez, V. Pérez-Muñuzuri
- 99** O sistema de previsão operacional do Instituto Hidrográfico  
P. Mota, I. van Golde, J. Pinto
- 103** Tagus estuary hydro-biogeochemical model: Inter-annual validation and operational model update  
G. Franz, R. Fernandes, H. de Pablo, C. Viegas, L. Pinto, F. Campuzano, I. Ascione, P. Leitão, R. Neves
- 107** Implementation and validation of an operational model for the Portuguese exclusive economic zone  
L. Pinto, F. Campuzano, M. Juliano, R. Fernandes, R. Neves
- 111** Exemplos de utilização do radar altímetro Jason-2 em episódios recentes de forte agitação marítima  
S. Muacho, A. Lourenço
- 113** Visualização de dados oceanográficos em dispositivos móveis  
R. Gomes, A. Carvalho, M. Oliveira

### OCEANOGRAFIA FÍSICA

- 119** Desenvolvimentos Recentes do Hidralerta - Sistema de Previsão e Alerta de Inundações em Zonas Costeiras e Portuárias  
Conceição Fortes, Teresa Reis, Pedro Poseiro, João Santos, Rui Capitão
- 123** Análise e previsão de marés com recurso a Excel  
C. Lopes da Costa
- 127** The Iberian Coastal Low-Level Jet Structure and Dynamics  
N. Rijo, D. Lima, A. Semedo, P. Miranda, R. Cardoso, P. Soares
- 131** The impact of Climate Change on the Iberian Low-Level Wind Jet: EURO-CORDEX Projections  
D. Lima, A. Semedo, P. Soares, R. Cardoso
- 135** Comparação de modelos hidrodinâmicos na modelação da sobreelevação do nível do mar de origem meteorológica  
R. Fonseca, M. Araújo, A. Trigo-Teixeira
- 139** Observações e cálculo do runup na praia de Mira  
Paulo Silva, Patrícia Pereira, Paulo Baptista, Laura Tubarão, Cristina Bernardes, Bruno Pedrosa, Joaquim Barbosa, Tiago Abreu, Selma Gabriel
- 143** Galgamento do quebra-mar poente de Albufeira: Comparação entre o modelo numérico SPH e medições de campo  
E. Didier, Ó. Ferreira, J. Dias, D. Neves, A. Carrasco, M. Reis, M. Neves
- 147** Desenvolvimento do Sistema de Previsão e Alerta de Inundações HIDRALERTA: Caso de Estudo da Costa da Caparica  
P. Poseiro, M. Reis, C. Fortes, E. Lopes, A. Sabino, A. Rodrigues
- 151** Determination of Extreme Sea Levels along the Portuguese Coast  
A. Fortunato, K. Li, X. Bertin, M. Rodrigues
- 155** Influence of MeteOcean processes on MSYM sea level predictions in Singapore and Malacca Straits  
A. Bartolomeu, M. Malhadas, P. Leitão, J. Dias
- 159** Simulação numérica da interacção onda-cilindro utilizando o código OpenFOAM  
J. Conde, T. Moreira
- 163** 3D coupled system for wave-current modeling in the nearshore zone  
M. Teles, A. Pires-Silva, M. Benoit
- 167** Estudo do escoamento de ondas e correntes – Aplicação do modelo IH-2VOF  
J. Lopes
- 171** Influência e propagação no interior da Ria Formosa dos processos oceanográficos de mesoescala na costa sul de Portugal  
J. Jacob, N. Simões, A. Cravo

Validação de correntes marítimas de superfície medidas por um sistema de radares de alta frequência na zona sul da Península Ibérica R. Vicente, A. Martinho	<b>175</b>
Sobre as diferenças da agitação marítima ao largo de Sines e Figueira da Foz Francisco Sancho, Rui Capitão	<b>179</b>
Análise do desempenho do modelo SWAN na zona da Costa da Caparica R. Capitão, C. Fortes, P. Poseiro, P. Raposeiro	<b>183</b>
Avaliação do Risco de Galgamento de Estruturas Portuárias: Aplicação ao Porto de Ponta Delgada D. Pereira, L. Lopes, M. Reis, C. Fortes, P. Poseiro	<b>187</b>
The early story of the Mediterranean outflow – a tribute to Alfredo M. Ramalho António Jorge da Silva	<b>191</b>
Evolução da climatologia de agitação marítima em Portugal Continental J. Pinto, P. Mota, M. Costa	<b>195</b>
Influência das correntes no comportamento do modelo SWAN na zona de Diogo Lopes, Brasil A. Ramos, J. Fortes, A. Pires-Silva, A. Scudeleri	<b>199</b>
Going beyond R2 - Simple statistical analysis to correlate inferred suspended sediment data A. Santos, D. Carinhas, A. Oliveira, J. Pinto	<b>203</b>
Sensibilidade do cálculo de tensões de atrito a partir de um perfil de velocidades T. Abreu, P. Silva, H. Michallet, D. Van der A, D. Mouazé	<b>207</b>
Hydrographic Institute contribution for the COMIC Ghent University cruise on Moroccan and Iberian Margins I. Martins, T. Vandorpe, J. Vitorino, D. Van Rooij	<b>211</b>
Validação das correntes marítimas de superfície medidas com radares de alta frequência na área de Sines durante o verão de 2008 R. Vicente, P. Oliveira	<b>215</b>
<b>OCEANOGRAFIA GEOLÓGICA</b>	
Dinâmica de trocas entre a Ria Formosa e o oceano: modelação numérica do transporte de matéria em suspensão J. Fabião, M. Rodrigues, A. Fortunato, J. Jacob, A. Cravo	<b>221</b>
Canhão Submarino de Lisboa: um depocentro de sedimentos? C. Jesus, H. de Stigter, A. Oliveira	<b>225</b>
Modelling nearshore dynamics at Norte beach (Nazaré) I. Bosnic, J. Duarte, R. Taborda, J. Cascalho, A. Silva, A. Oliveira	<b>229</b>
Modelling beach morphological changes during episodic erosion-recovery events: preliminary results F. Oliveira	<b>233</b>
The effect of dune morphology longshore variation in the beach-dune system resilience F. Oliveira	<b>237</b>
<b>OCEANOGRAFIA QUÍMICA</b>	
Metodologias para avaliação da contaminação de sedimentos marinhos M. Valença, C. Palma, A. Rocha	<b>243</b>
Caraterização Geoquímica da Zona Piloto (S. Pedro de Moel) A. Gama, C. Pólvora, M. Valença, A. Oliveira, C. Palma	<b>247</b>
Contraste geoquímico e mineralógico entre os sedimentos da crista da ilha Terceira e do monte submarino Great Meteor C. Palma, M. Valença, A. Gama, A. Oliveira, J. Cascalho, E. Pereira, A. Lillebø, A. Duarte, M. Pinto de Abreu	<b>251</b>



- 255** Transport of nutrients, chlorophyll-a and suspended solids at the mouth of the river Mira, Vila Nova de Milfontes, during a spring tidal cycle, October 2013  
A. Rosa, C. Pereira, N. Simões, A. Ovelheiro, A. Silva, L. Curralo, A. Cravo, J. Jacob
- 259** Aplicação da análise de Sesquiterpanos e Diamantóides em Processos Forenses de Poluição do Meio Marinho  
A. Rocha, C. Borges, I. Cruz
- 263** Numerical Evaluation of the River Nutrients Influence in the Western Iberian Coastal Region  
Francisco Campuzano, Isabella Kenov, David Brito, Manuela Juliano, Rodrigo Fernandes
- 267** Monitorização Ambiental no Estuário do Tejo – um caso prático de evolução temporal  
J. Reis, C. Borges, M Valença
- 271** Controlo estatístico da qualidade em ensaios interlaboratoriais – caso particular de nutrientes em águas salinas  
D. Carinhas, C. Borges, P. Silva, P. Infante
- 275** PAHs em Sedimentos Marinhos: Concentração e (Bio)disponibilidade (Estudo Preliminar)  
C.Torre, A. Rocha, M.Valença, C. Borges, I.Cruz, I.Caçador

### **GEOLOGIA MARINHA**

- 281** Bottom sediment at the Pilot Zone (S.Pedro de Moel)  
C. Polvora, A. Oliveira, L. Rosa, J. Pombo, A. Rodrigues
- 285** Sedimentological and physico-chemical characterization of intertidal zones in the Arade Estuary (Southern Portugal)  
A. Gomes, T. Boski, D. Moura, K. Szkornik, A. Witkowski, S. Connor, J. Jacob, S. Gabriel, J. Horta, S. Camacho
- 289** Evidences of sediment bypassing at Nazaré headland revealed by a large scale sand tracer experiment  
J. Duarte, R. Taborda, M. Ribeiro, J. Cascalho, A. Silva, I. Bosnic
- 293** Assessing beach morphodynamics through close-range photo-monitoring  
M. Carapuço, M. Ribeiro, R. Taborda
- 297** Sediment textural selection during sub-aerial headland bypassing. An example from the Nazaré coastal system (Portugal)  
J. Cascalho, J. Duarte, R. Taborda, M. Ribeiro, A. Silva, I. Bosnic, M. Carapuço, C. Lira, A. Rodrigues
- 301** Insights on sediment bypassing at headland-bay beaches: an example at the Portuguese west coast  
M. Ribeiro, R. Taborda, A. Rodrigues, T.M. Silveira
- 305** Morphodynamic processes of the beaches in front to the Pilot Zone  
Nuno Lapa, Frederico Ferreira, Cassandra Pólvara, Aurora Rodrigues, Cecília Luz, João Paulo Pinto
- 309** Determinação das características mecânicas de sedimentos lodosos  
N. Lapa, J. Pombo, A. Rodrigues
- 313** An Integrated Approach for Flood Risk Assessment in Estuaries  
P. Freire, A. Tavares, A. Fortunato, A. Oliveira, M. A. Cardoso, P. Pires
- 317** Susceptibilidade à inundação de margens estuarinas. Aplicação à baía do Seixal (Estuário do Tejo, Portugal)  
A. Rilo, A. Fortunato, P. Freire, K. Li, A. Tavares
- 321** Dark grey sea foam formation in the “Norte” Beach (Nazaré)  
A. Oliveira, J. Duarte, A. Silva, R. Taborda

### **SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E GESTÃO DE DADOS DO AMBIENTE MARINHO**

- 327** Bathymetric interpolation for hydrodynamic modeling  
Nadiia Basos, Flavio Martins, José Rodrigues
- 331** Desenvolvimento de um WebSIG de dados oceanográficos da Ria Formosa, Sul de Portugal  
N. Simões, A. Cravo, J. Jacob
- 335** Base de dados ANOSOM - análise da observação sistemática de obras marítimas- O caso do porto de Nador  
R. Lemos, L. Silva, J. Fortes, L. Luis

Contribuição das Bases de Dados para um melhor conhecimento geológico em Portugal A. Saramago dos Santos, A. Lopes, A. Rodrigues, C. Luz, A. Oliveira, A. Santos, L. Rosa, R. Baptista	<b>339</b>
Processo de recuperação da informação histórica de perfis de reflexão sísmica: Conversão da informação em papel para o formato digital R. Santos, L. Rosa, F. Ferreira, S. Silva, L. Reis	<b>343</b>
R3M. The ocean data portal for the Macaronesian region C. Barrera, M. Gelado, E. Brito-Azevedo, C. Correia, V. Melo, M. J. Rueda, O. Llinas	<b>347</b>
Áreas Marinhas Protegidas: gestão e sustentabilidade E. Dias, J. Marques, A. Teixeira, S. Salvador, S. Moutinho, P. Simão, V. Lopes, A. Castro, A. Monteiro	<b>351</b>
A instabilização de taludes naturais e os danos registados no cais de Sabrosa, no Rio Douro A. Orive Vega, A. Ferreira, A. da Silva, E. Dias	<b>355</b>
Ferramenta SIG para Reconstituição de Paleobatimetrias do Oceano Atlântico Norte N. Simões, C. Veiga-Pires, H. Fernandez	<b>359</b>
<b>TECNOLOGIAS DO MAR E ENGENHARIA OCEANOGRÁFICA</b>	
PLOCAN: A dedicated gliderport facility for the Macaronesia C. Barrera, T. Morales, D. Vega, J. Vieira, M. Rueda	<b>365</b>
Cooperative Motion Control of Autonomous Marine Vehicles António Pascoal	<b>369</b>
Busca e inspeção de objetos no fundo do mar – Estudo de caso no parque Oceano Revival C. Fradique, S. Silva, F. Ferreira	<b>373</b>
Visualização de navios afundados pela retroreflexão acústica na coluna de água C. Marques, C. Monteiro, R. Almeida, J. Vicente	<b>377</b>
Metodologia para a realização de levantamentos magnéticos marinhos para deteção de objetos S. Silva, F. Santos, R. Taborda	<b>381</b>
Rede Portuguesa de boias multiparamétricas em tempo real – a experiência de cinco anos I. Martins, N. Zacarias, J. Vitorino	<b>385</b>
Novas Capacidades Hidrográficas do Instituto Hidrográfico C. Marques, C. Monteiro, R. Almeida, J. Vicente	<b>389</b>
<b>Índice de autores</b>	<b>393</b>
<b>Divulgação dos Patrocinadores</b>	<b>397</b>





# Comissões

## COMISSÃO DE HONRA

Ministro da Defesa Nacional, *Dr. José Pedro Aguiar-Branco*  
 Ministro do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, *Eng.º Jorge Moreira da Silva*  
 Ministra da Agricultura e do Mar, *Prof.ª Doutora Assunção Cristas*  
 Ministro da Educação e Ciência, *Prof. Doutor Nuno Crato*  
 Presidente da Câmara Municipal de Lisboa, *Dr. António Costa*  
 Secretário de Estado do Mar, *Prof. Doutor Manuel Pinto de Abreu*  
 Chefe do Estado-Maior da Armada, *Almirante Luís Macieira Fragoso*  
 Diretor-geral do Instituto Hidrográfico, *Contra-almirante António Silva Ribeiro*  
 Bastonário da Ordem dos Engenheiros, *Eng.º Carlos Matias Ramos*  
 Reitor da Universidade de Lisboa, *Prof. Doutor António Cruz Serra*  
 Reitor da Universidade do Porto, *Prof. Doutor José Marques dos Santos*  
 Reitor da Universidade Nova de Lisboa, *Prof. Doutor António Bensabat Rendas*  
 Reitor da Universidade de Aveiro, *Prof. Doutor Manuel António Assunção*  
 Reitor da Universidade dos Açores, *Prof. Doutor João Baptista Gaspar*  
 Reitor da Universidade do Algarve, *Prof. Doutor António Branco*  
 Presidente da Academia de Marinha, *Almirante Nuno Vieira Matias*  
 Presidente do Comité Português para a  
 Comissão Oceanográfica Intergovernamental da UNESCO, *Prof. Doutor Mário Ruivo*  
 Presidente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, *Eng.º Carlos Pina*  
 Presidente do Instituto Português do Mar e da Atmosfera, *Prof. Doutor Miguel Miranda*  
 Presidente da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, *Prof. Doutor Miguel Seabra*  
 Diretor de Hidrografia e Navegação (Brasil), *Vice-almirante António Pontes Lima Júnior*  
 Diretor da Comissão Cultural de Marinha, *Vice-almirante José Oliveira Viegas*  
 Comandante da Escola Naval, *Contra-almirante Edgar Bastos Ribeiro*  
 Diretor do Instituto Hidrográfico de la Marina (Espanha), *Capitán de Navío José de Mesa y Temboury*  
 Presidente da Organização Hidrográfica Internacional, *Captain Robert Ward*

## COMISSÃO CIENTÍFICA

*Doutora Aurora Rodrigues Bizarro, Marinha, IH (presidente)*  
*Capitão-de-fragata Engenheiro Hidrógrafo Leonel Pereira Manteigas, Marinha, IH*  
*Capitão-de-fragata Engenheiro Hidrógrafo Luís Bessa Pacheco, Marinha*  
*Capitão-de-fragata Engenheiro Hidrógrafo António Santos Martinho, Marinha, IH*  
*Capitão-de-fragata Engenheiro Hidrógrafo Aldino Santos de Campos, EMEPC*  
*Capitão-de-fragata Nuno Sousa Rodrigues, Marinha, IH*  
*Capitão-de-fragata Hidrógrafo Rui Reino Baptista, Marinha, IH*  
*Primeiro-tenente Oceanógrafo Luís Quaresma dos Santos, Marinha, IH*  
*Engenheira Carla Palma, Marinha, IH*  
*Engenheiro Carlos Vale, IPMA*  
*Engenheira Leonor Veiga, Marinha, IH*  
*Engenheiro Marcos Rita, LNEC*  
*Engenheira Paula Sanches, Marinha, IH*  
*Engenheira Teresa Sá Pereira, APL / OE*  
*Doutor José Paulo Pinto, Marinha, IH*  
*Doutor Pedro Terrinha, IPMA*  
*Doutor Pedro Viterbo, IPMA*  
*Professor Doutor Virgílio Mendes, FCUL*  
*Professor Doutor António Pascoal, IST*  
*Professor Doutor António Pires Silva, IST*  
*Professor Doutor Carlos Sousa Reis, FCUL*  
*Professor Doutor Rui Taborda, FCUL*

## COMISSÃO ORGANIZADORA

*Capitão-de-mar-e-guerra Engenheiro Hidrógrafo Carlos Ventura Soares*  
*Capitão-de-fragata Engenheiro Hidrógrafo Fernando Freitas Artilheiro*  
*Capitão-de-fragata Hidrógrafo Miguel dos Reis Arenga*  
*Capitão-tenente Engenheiro Hidrógrafo Carlos Santos Fernandes*  
*Doutora Anabela Oliveira*  
*Dra. Teresa Correia*





## Patrocinadores

KONGSBERG MARITIME

CARIS

CCDR - TRADE 2

EDP Renováveis

ESRI Portugal

QUALITAS REMOS

MRA Instrumentação



## Nota introdutória

Os resumos alargados, reunidos neste livro, resultam dos trabalhos apresentados nas 3.<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica, que decorreram nas instalações do Instituto Hidrográfico, em Lisboa, nos dias 24, 25 e 26 de junho de 2014.

O Instituto Hidrográfico, órgão da Marinha e Laboratório do Estado no âmbito das ciências e técnicas do mar, organizou este terceiro evento, na semana em que se comemora o Dia Mundial da Hidrografia, 21 de junho, este ano subordinado ao tema “Hidrografia – muito mais do que apenas cartas náuticas”. Pretende-se a realização de um fórum de natureza científica, focado nas ciências do mar, com o objetivo de potenciar o relacionamento entre os membros da comunidade científica essencialmente nacional.

As cerca de cem comunicações apresentadas, orais e pósteres, foram divididas num conjunto diversificado de sessões, a saber: hidrografia, sistemas de informação geográfica e gestão de dados do ambiente marinho, geologia marinha, tecnologias do mar, engenharia oceanográfica e oceanografias operacional, física, geológica e química.

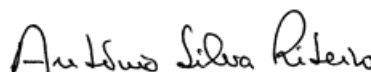
Não só a quantidade, como também a diversidade dos trabalhos propostos, relevam a importância que esta iniciativa já tem no âmbito científico nacional, com a presença de jovens técnicos e investigadores, bem como de autores nacionais de reconhecido mérito, assim como de participantes de Espanha, Brasil e Noruega.

Em nome da Marinha e do Instituto Hidrográfico agradeço a presença todos os participantes nestas Jornadas, esperando que as mais-valias obtidas possam ter contribuído não apenas para o vosso enriquecimento pessoal como também para o profissional e científico. Saliento aqui o especial empenho demonstrado pelo pessoal deste Instituto envolvido na preparação e execução do evento e em especial pela Comissão Organizadora. Relevo, também, as entidades patrocinadoras, nacionais e estrangeiras, que apoiaram esta iniciativa, viabilizando o evento na conjuntura difícil que atravessamos.

Espero, finalmente, que os trabalhos aqui publicados representem um real acréscimo científico no panorama nacional, e, como tal, possam servir de referência futura para todos aqueles que desenvolvem investigação ou trabalham nas ciências e técnicas do mar, em especial na área atlântica onde Portugal se insere.

Bem hajam!

O DIRECTOR-GERAL



António Silva Ribeiro  
Contra-almirante



## Resumos Alargados





# Levantamentos Hidrográficos

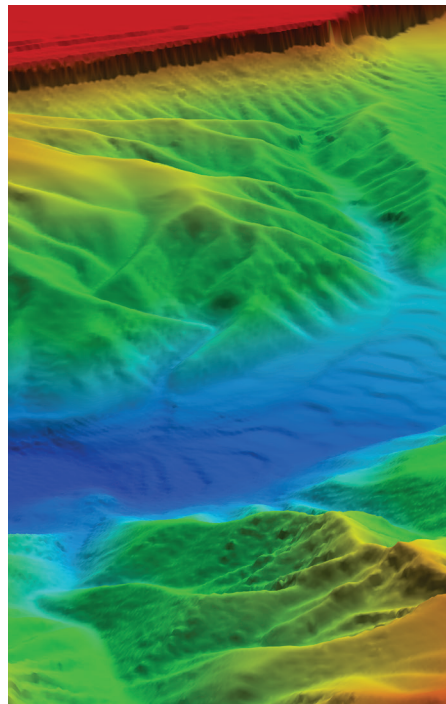


# HIDROGRAFIA

---

3.<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica  
Lisboa, 24, 25 e 26 de junho de 2014

---





## Benefícios da utilização de sondadores interferométricos

J. Cruz<sup>(1)</sup>, J. Vicente<sup>(1)</sup>, M. Miranda<sup>(1)</sup>, C. Marques<sup>(1)</sup>, C. Monteiro<sup>(1)</sup>, A. Alves<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico. ventura.cruz@hidrografico.pt

**Resumo:** No final do ano 2013, o Instituto Hidrográfico (IH) adquiriu um sistema sondador interferométrico portátil GEOSWATH 500 PLUS COMPACT. Trata-se de um sonar lateral com capacidade de recolha de informação batimétrica garantindo uma imagem acústica de elevada resolução para caracterização do fundo marinho. Este sondador permite a aquisição de dados numa faixa de largura até 12 vezes a profundidade. Garantida uma instalação e operação adequadas, permite realizar levantamentos de ordem especial (acordo requisitos da Organização Hidrográfica Internacional).

Com a aquisição deste sistema, o IH passa a possuir uma maior capacidade na execução de levantamentos de elevada resolução em baixas profundidades com elevada rentabilidade, informação essencial para a atualização cartográfica. Paralelamente, o Instituto adquire também uma maior capacidade expedicionária em missões de segurança da navegação ou de necessidade de resposta rápida em caso de desastre ou de catástrofes naturais, para avaliação de áreas restritas ou interditas à navegação e de eventuais intervenções para a manutenção da navegabilidade.

A presente comunicação tem por objetivo dar a conhecer os resultados do primeiro levantamento realizado pelo IH com este novo sistema.

**Palavras-chave:** Sondadores interferométricos, Levantamentos Hidrográficos, Geoswath, Sonar lateral.

### 1. INTRODUÇÃO

Com a crescente necessidade de obter um conhecimento rigoroso do fundo marinho, o Instituto Hidrográfico (IH) ao longo das últimas décadas tem acompanhado a evolução dos sistemas e metodologias utilizados na realização de levantamentos hidrográficos (LH). O tipo de sistema que, por excelência, garante ao IH a concretização de uma busca total do fundo são os sistemas sondadores multifeixe (SMF). A utilização destes sistemas em LH de baixas profundidades revela-se, contudo, pouco eficiente devido à limitação da sua cobertura angular (cerca de 3 vezes a profundidade). Em alternativa ao SMF são utilizados sistemas sondadores de feixe simples (SFS) que apesar de possibilitarem a realização de LH de baixas profundidades com uma boa relação custo-benefício, não garantem a pretendida busca total do fundo.

Com a aquisição de um sistema sondador interferométrico GEOSWATH 500 PLUS COMPACT (GS500+), o IH assegura a capacidade de realizar LH em profundidades muito baixas, de forma célere garantindo a busca total do fundo.

O objetivo deste estudo é avaliar a capacidade do GS500+ para realizar LH que cumpram os requisitos de ordem especial estabelecidos pela Organização Hidrográfica Internacional (IHO, 2008).

### 2. GEOSWATH 500 PLUS COMPACT

O GS500+ é um sistema vocacionado para aquisição de dados de sonar lateral e, simultaneamente, dados batimétricos em baixas profundidades. Apresenta grande portabilidade, permitindo um fácil emprego em embarcações de oportunidade, com dimensões variadas ou em situações de emergência ou catástrofe que exijam uma rápida busca e

caracterização do fundo marinho. A capacidade de recolha de uma elevada densidade de dados batimétricos com uma largura da faixa sondada até 12 vezes a profundidade, aliada à aquisição simultânea de uma imagem acústica de elevada resolução, asseguram a busca total do fundo e a deteção de objetos de reduzidas dimensões (Kongsberg, 2012).

Os seus transdutores (*dual head*), dispostos em forma de V perfazem um ângulo de 60° e possuem, em cada bordo, um elemento transmissor e quatro elementos recetores. Um impulso acústico é emitido pelo elemento de transmissão, medindo o tempo de retorno do sinal é determinada a distância ao fundo. Os quatro elementos recetores dispostos de forma específica determinam as pequenas diferenças de fase entre os ecos acústicos, derivando assim o ângulo pelo qual estes são recebidos (figura 1).

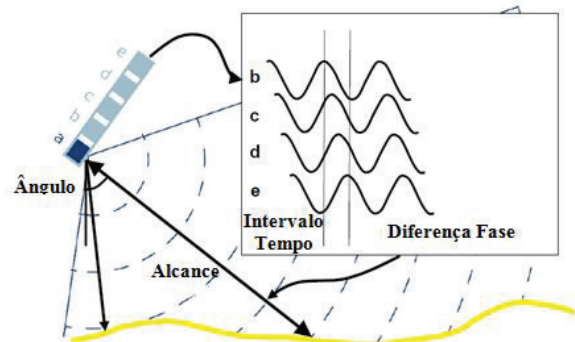


Figura 1 – Medição por fase. Adaptação de Gutierrez e Gutowski (2013).

#### 2.1. Especificações técnicas

As principais características do sistema GS500+ são apresentadas na tabela I:



Tabela I - Características do sistema GS+ (Kongsberg, 2012)

Frequência de operação	500 kHz
Prof. máx. de operação	50 metros
Largura de faixa sondada	Até 12 x profundidade
Resolução em profundidade	1.5mm
Largura de feixe	0,5° x 0,5°
Comprimento de impulso	32 $\mu$ s a 224 $\mu$ s
Máx. taxa de transmissão	30 impulsos p/ segundo
Dimensões transdutor	255 mm x 110 m x 60 mm

## 2.2. Sensores adicionais

Por forma a garantir o posicionamento dos dados no fundo marinho, o sistema GS500+ necessita ainda de ser equipado com sensores adicionais capazes de medir a atitude e os movimentos da embarcação, determinar a posição da embarcação e medir a velocidade de propagação do som (VPS) à face dos transdutores e ao longo da coluna de água. Poderá ainda ser equacionada a introdução de um transdutor de feixe simples para controlo de qualidade dos dados obtidos no GS500+, podendo auxiliar a eliminação da informação da coluna de água no processamento dos dados de retrorefletividade do fundo para elaboração da imagem acústica de sonar lateral. A figura 2 apresenta um exemplo de uma instalação que inclui os sensores descritos.



Figura 2 – Sistema GS500+ com transdutores dual head (1), sensor inercial (2), sensor de medição VPS (3), transdutor SFS (4), 2 antenas GPS para determinação da proa (5) e antena GPS para determinação da posição (6)

## 3. METODOLOGIA

### 3.1. Área de sondagem

A aquisição de dados foi realizada numa área envolvente à marina de Cascais. Esta área, de profundidades inferiores a 10 metros, proporciona igualmente a oportunidade de avaliar a capacidade de deteção de objetos devido à existência de algumas estruturas rochosas e objetos no fundo.

### 3.2. Montagem e provas de calibração

O sistema GS500+ foi instalado na embarcação Trinas. Todos os equipamentos ilustrados na figura 2 foram instalados num suporte à proa (figura 3). Foram medidas as distâncias horizontais e verticais entre os vários sensores e determinados os desvios

de orientação entre o referencial dos transdutores e o referencial dos sensores de atitude da embarcação.



Figura 3 – Embarcação Trinas no local da sondagem

### 3.3. Maré e Velocidade de Propagação do Som

Adotou-se como referência vertical o Zero Hidrográfico, situado 2,08 metros abaixo do Nível Médio Adotado, tendo sido utilizados os dados do marégrafo de Cascais (pertencente à Direção Geral do Território) para redução da sondagem de maré.

Os perfis da VPS ao longo da coluna de água foram determinados com recurso a um equipamento perfilador de som, o *Sound Velocity Profiler* (SVP).

### 3.4. Limitações e assumções

O posicionamento da embarcação foi garantido no modo *Differential Global Navigation Satellite System* (DGNSS). Este modo não permite medir as variações espaciais e temporais da altura de maré relativamente às observações de maré recolhidas no marégrafo, nem medir as variações resultantes do comportamento dinâmico da embarcação, aumentando assim a incerteza no posicionamento vertical das profundidades.

No dia 24 de abril de 2014, foi realizado um LH com um SMF EM2040C (Kongsberg, 2013) em parte da área a sondar pelo GS500+. Os dados foram recolhidos no modo de posicionamento DGNSS *Real Time Kinematic* (RTK) de modo a minimizar as incertezas verticais e horizontais. O processamento foi realizado na aplicação CARIS-HIPS v.8.1.7 (CARIS, 2014). O resultado do processamento foi um modelo batimétrico (MB) de deteção de objetos (Vicente *et al.*, 2012) assumido como superfície de referência para comparação com os dados do GS500+ (figura 4).

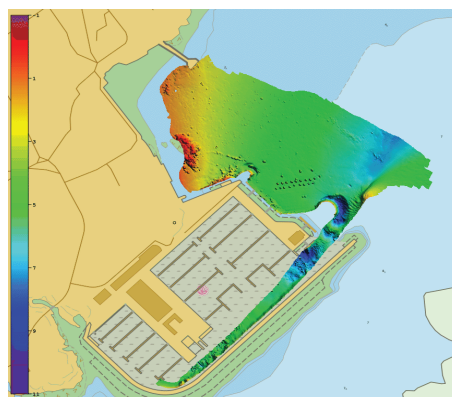


Figura 4 – MB com 0,5 m de resolução do LH (SMF EM2040C)

### 3.5. Aquisição e processamento dos dados

A aquisição de dados com o GS500+ foi realizada no dia 29 de abril. Foram realizadas 28 fiadas principais de sondagem e 3 fiadas de verificação. Com recurso ao software GS+ v.3.6.v. (Kongsberg 2012) foram gravados os dados que posteriormente foram importados para o CARIS-HIPS. Foram aplicadas as correções referidas nos parágrafos 3.2 e 3.3 e rejeitadas as sondas consideradas ruído (este sistema não possui um algoritmo de seguimento do fundo, pelo que grava todos os ecos recebidos, sejam eles provenientes do fundo, de situações de múltiplo trajeto ou da coluna de água (figura 5)).

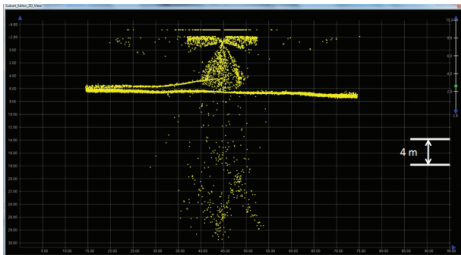


Figura 5 – Aspecto dos dados importados sem processamento.

A informação de retrorefletividade foi processada e utilizada para localizar objetos, revelando-se um auxílio precioso no processamento das profundidades.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Modelos batimétricos

Como resultado do processamento dos dados adquiridos com o GS500+, foi gerado um MB de detecção de objetos a partir das sondas validadas (figura 6). Neste MB não foram incluídas as sondas obtidas nas fiadas de verificação. A análise dos dados processados demonstra que a localização de objetos de pequena dimensão, apenas com recurso à análise da informação batimétrica, não é um processo simples devido à elevada dispersão de dados, conforme ilustrado na figura 7.

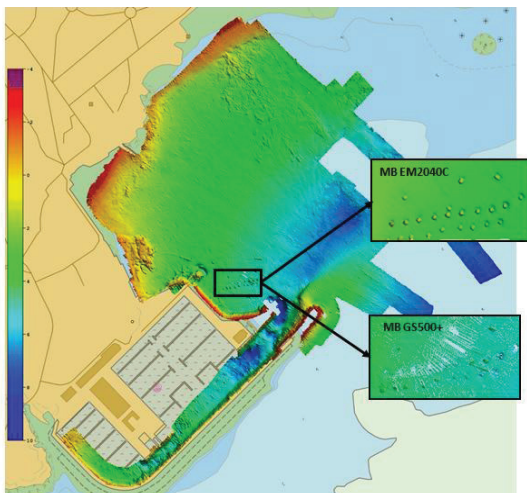


Figura 6 – MB com 0,5 m de resolução do LH (GS500+). Os objetos em destaque têm dimensão superior a 2 m.

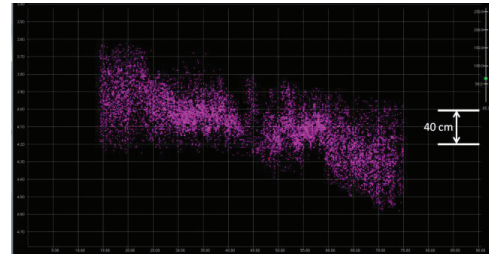


Figura 7 – Exemplo de uma fiada processada do GS500+.

### 4.2. Mosaico sonar lateral

Partindo da informação de retrorefletividade, e adotando a metodologia exposta em CARIS (2014) foi gerado o mosaico (imagem acústica) ilustrado na figura 8. A detecção de objetos é garantida pela análise adequada desta camada de informação (figura 9) e avaliação de todos os contatos que possam corresponder a objetos.

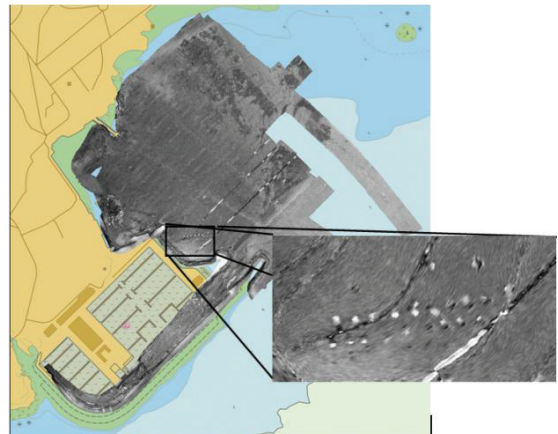


Figura 8 – Mosaico de sonar lateral com 20 cm de resolução.

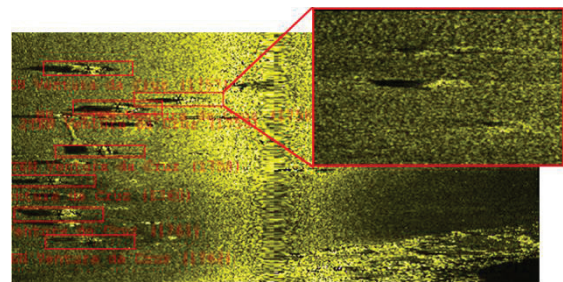


Figura 9 – Imagem de sonar lateral de elevada resolução. Os objetos são assinalados e localizados como contatos, facilitando posteriormente o processamento das profundidades.

### 4.3. Comparação dos MB

Nas áreas de fundo regular foi criada uma superfície de diferenças entre o MB SMF e o MB do GS500+ (figura 10). Da análise desta superfície conclui-se que a média das diferenças é de 0,11 m (desvio padrão de 0,15 m). As diferenças são justificadas pelas diferentes metodologias de posicionamento vertical utilizadas, assim como, pelas características distintas dos dois sistemas.





Figura 10 – Superfície das diferenças (EM2040C - GS500+)

4.4. Repetibilidade das medições do GS500+

Da comparação das sondas reduzidas validadas adquiridas nas fiadas de verificação com o MB GS500+ verificou-se que os dados apresentam muito boa consistência, visto que mais de 95% das diferenças possuem um valor inferior à máxima incerteza vertical admissível para LH de ordem especial e, mais de 99% das diferenças possuem um valor inferior à máxima incerteza vertical admissível para LH de ordem 1a.

As diferenças obtidas foram agrupadas por feixes e estão expressas na figura 11.

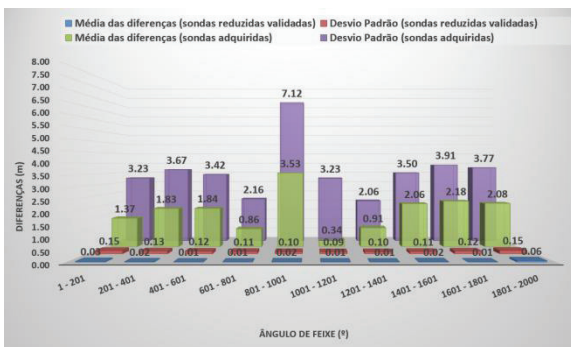


Figura 11 – Média e desvio padrão das diferenças

4.5. Rentabilidade da sondagem

Uma das vantagens da utilização do sistema GS500+ é a elevada rentabilidade em LH de baixas profundidades (Tabela II).

Tabela II – Rentabilidade da sondagem

	Área (Km <sup>2</sup> )	Distância em fiada (Km)	Tempo de sondagem	Largura de faixa sondada	Sobreposição entre faixas sondadas	Tempo de processamento
EM 2040C	0,29	10,96	2h48m	3x fundo	50%	1 dia
GS500+	0,42	16,57	2h49m	11x fundo	50%	3 dias

No entanto, a necessidade de processar a imagem sonar de modo a garantir a não eliminação de sondas referentes a objetos e a dificuldade de determinar a sua sonda mínima, em virtude do “ruído” existente nas medições, incrementam o tempo de processamento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos, apesar de muito positivos não permitem concluir que o sistema sondador GS500+, na configuração e metodologia utilizada, tenha potencialidade para cumprir com os requisitos dos LH de ordem especial. Tal facto poderá justificar-se pelo elevado “ruído” (elevado desvio padrão das sondas reduzidas) nos dados e consequente dificuldade na determinação da sonda mínima. Para atingir o objetivo de realizar LH de ordem especial dever-se-á realizar nova avaliação nas seguintes condições: diminuição da largura da faixa sondada (7 a 8 vezes a profundidade); utilização de posicionamento DGNSS RTK para compensar o calado dinâmico da embarcação em áreas confinadas; aperfeiçoar o processo de rejeição de sondas consideradas “ruído”.

Os resultados indicam ainda que o GS500+ cumpre os requisitos necessários para a execução de LH de ordem 1a.

A busca completa e a localização de possíveis objetos de pequena dimensão só é assegurada com uma interpretação cuidada da imagem acústica. Sendo esta uma imagem de elevada resolução torna este sistema no mais adequado para busca de objetos em baixas profundidades, nomeadamente, quando a utilização de sonar lateral rebocado é inviável.

Este sondador demonstrou capacidades excelentes de portabilidade e eficácia para operação em baixas profundidades, nas áreas onde os SMF apresentam menor rentabilidade. Realça-se ainda a capacidade para recolher dados de retrorefletividade georreferenciados de elevada resolução.

REFERÊNCIAS

CARIS (2014): “CARIS HIPS & SIPS user guide”, CARIS.

Gutierrez, F., Gutowski, M. (2013): "GeoSwath Plus side scan data normalisation and classification using the GeoTexture software", *A case-of-study using the Shallow Survey 2012 common dataset*, Roma (trabalho não publicado).

Kongsberg (2012):"GeoSwath Plus Operation Manual", Kongsberg Geoacoustics.

Kongsberg (2013): “EM2040C Multibeam Echo Sounder”, Kongsberg Maritime AS

OHI, (2008): “S-44 IHO Standards for Hydrographic Surveys”, 5<sup>a</sup> Ed., Organização Hidrográfica Internacional.

Vicente, J., R. Silva, P. Sanches e M. Arenga (2012): “Revisão das Especificações Técnicas para a execução de Levantamentos Hidrográficos”, 2<sup>as</sup> Jornadas de Hidrografia, Instituto Hidrográfico.

## Colaboração Hidrográfica entre Portugal e Espanha

C. Monteiro <sup>(1)</sup>, S. Espinosa <sup>(2)</sup>, A. Correa <sup>(2)</sup>, R. Almeida <sup>(1)</sup>, C. Marques <sup>(1)</sup> e J. Cruz <sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico [crisrina.monteiro@hidrografico.pt](mailto:crisrina.monteiro@hidrografico.pt)

(2) Instituto Hidrográfico de la Marina [sespinosa@fn.mde.es](mailto:sespinosa@fn.mde.es)

**Resumo:** O projeto de Colaboração Hidrográfica entre o Instituto Hidrográfico Português e o Instituto Hidrográfico de la Marina de Espanha visa, fundamentalmente, a troca de experiência e conhecimento no âmbito da aquisição, processamento e validação de dados batimétricos obtidos com sistemas sondadores em uso em ambos os institutos, na atualização e na produção de cartografia náutica para apoio à segurança da navegação.

A primeira fase deste projeto ocorreu no período de 28 a 31 outubro de 2013, tendo sido executado um levantamento hidrográfico conjunto no rio Guadiana. O Instituto Hidrográfico Português recorreu a um sistema sondador multifeixe Kongsberg EM 3002 e o Instituto Hidrográfico de la Marina utilizou um sistema interferométrico Kongsberg Geoswath 500 Plus. A fase de aquisição de dados teve como objetivo a recolha simultânea de informação hidrográfica para posterior comparação e a partilha de experiências, em termos de operacionalidade dos sistemas envolvidos. Os dados foram processados independentemente por cada Instituto e, em março de 2014, foi efetuada uma reunião técnica em Lisboa para análise e comparação dos dados validados, dos respetivos sistemas, e ainda para partilhar normas, métodos e procedimentos implementados em cada Instituto no que concerne às fases de processamento dos dados, controlo de qualidade e à construção dos respetivos produtos finais.

**Palavras-chave:** Levantamento Hidrográfico, Sondador Multifeixe, Sondador Interferométrico, Geoswath

### 1. INTRODUÇÃO

A hidrografia, a cartografia e as técnicas de navegação estiveram associadas, ao longo de séculos, aos grandes feitos históricos de Portugal e Espanha na época dos descobrimentos. No entanto, só no século passado foram criados os respetivos serviços hidrográficos nacionais, agregando as competências e adquirindo a relevância que hoje possuem.

O Instituto Hidrográfico (IHPT) foi criado ao abrigo do Decreto-Lei n.º 43177, de 22 de setembro de 1960, e é o órgão da Marinha Portuguesa ao qual foi incumbida a centralização dos serviços nacionais relativos à hidrografia, oceanografia física, segurança da navegação, cartografia náutica e apoio especializado às marinhas de guerra, mercante, de pesca e recreio. O Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) surge, tal como é, em 1943, por lei de 30 de dezembro, com sede em Cádiz e como organismo dependente do *Estado Mayor de la Armada*, para dar mais ênfase à cartografia e ampliar a ação nas áreas relativas à hidrografia e navegação. Os dois Institutos têm responsabilidades e competências análogas no seu país e, para cumprirem a sua missão, mantêm-se na vanguarda da tecnologia, investindo na formação dos seus recursos humanos e acompanhando a evolução emergente, tanto a nível dos sistemas sondadores acústicos como dos softwares de processamento, edição cartográfica e armazenamento de dados hidrográficos.

O projeto de Colaboração Hidrográfica entre o IHPT e o IHM foi concebido seguindo as recomendações de cooperação estabelecidas entre países membros da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), à

qual ambos pertencem na qualidade de membros fundadores e representantes nacionais.

Com este projeto pretende-se, em conjunto, enriquecer o conhecimento nas áreas científicas, não só da hidrografia, mas também da oceanografia, da cartografia e da segurança da navegação.

### 2. COLABORAÇÃO HIDROGRÁFICA PORTUGAL-ESPANHA

O objetivo inicial desta colaboração centrou-se na partilha de conhecimentos no âmbito da hidrografia, através da discussão de ideias, da comparação de técnicas, equipamentos e modos de operação, da troca de metodologias e procedimentos, da análise dos processos de controlo de qualidade e da discussão dos parâmetros qualitativos e quantitativos implementados em cada Instituto, tendo em conta os requisitos mínimos definidos em função da ordem do levantamento e publicados na *S-44 IHO Standards for Hydrographic Surveys* (OHI, 2008). Para cumprir este propósito, o projeto foi iniciado com a realização de diversos levantamentos hidrográficos (LHs) conjuntos, para comparação dos sistemas específicos que cada Instituto dispõe, em função do intervalo de profundidades em que operam, começando pelos fundos baixos (que correspondem, normalmente, a zonas mais críticas no que diz respeito à segurança da navegação e, conseqüentemente, mais exigentes em termos de requisitos) e prosseguindo para as médias e grandes profundidades.

Os levantamentos hidrográficos foram realizados em simultâneo, de modo a proporcionar um intercâmbio operacional com troca de elementos de cada organismo, garantindo o acompanhamento, de ambas as partes e em tempo real, das parametrizações dos sistemas durante a aquisição

dos dados. Todos os dados, brutos e processados, foram cedidos de parte a parte para análise e investigação. Os respetivos produtos finais validados foram partilhados para posteriores comparações. As reuniões técnicas visaram abrir espaço para fomentar discussões sobre os procedimentos de trabalho, o processamento de dados, as formas de comparação e análise estatística da conformidade efetuada aos dados (entre a informação e os modelos batimétricos validados dos diferentes sistemas).

### 3. LEVANTAMENTO NO ESTUÁRIO DO RIO GUADIANA

A primeira fase do projeto de Colaboração Hidrográfica foi realizada na semana de 28 a 31 de outubro de 2013, com a execução de três levantamentos hidrográficos em conjunto, conforme as prioridades apresentadas na Figura 1, no estuário do Rio Guadiana e na barra dos portos de V. R. Sto. António e Ayamonte. Foram utilizados dois sistemas distintos de aquisição de dados de batimetria, adequados a fundos baixos, o sistema sondador multifeixe Kongsberg EM3002 (IHPT) instalado na lancha 'Mergulhão', e o sistema de sonar lateral interferométrico, capaz de adquirir dados de batimetria, Kongsberg Geoswath500+ (IHM), instalado na lancha do navio hidrográfico 'Malaspina'. Esta fase visou a troca de experiências em termos de operacionalidade dos sistemas durante a recolha de dados, para posterior comparação dos métodos, procedimentos utilizados e resultados obtidos.

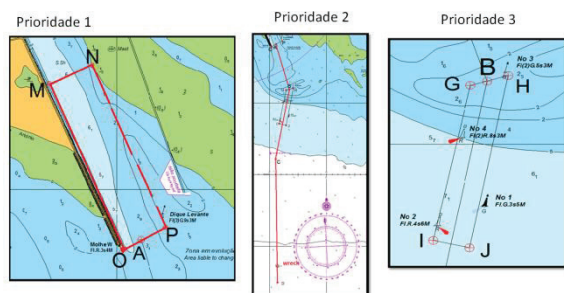


Fig. 1. Prioridade 1 – Barra do Rio Guadiana; Prioridade 2 – Fiada para testar alcance transversal do sistema em função da profundidade, deteção da sonda mínima e confirmação da posição do navio naufragado assinalado nas cartas náuticas; Prioridade 3 – Área exterior definida entre bóias no canal de navegação

Nos LHs efetuados pelo IHM, o posicionamento e o rumo da plataforma de sondagem foram assegurados pela unidade Hemisphere VS 101 utilizando o modo *Differential Global Navigation Satellite System* (DGNSS), com correções transmitidas pelo sistema *European Geostationary Navigation Overlay Service* (EGNOS) e atitude da plataforma monitorizada pelo sistema inercial Kongsberg MRU5+. Os LHs efetuados pelo IHPT foram assegurados pelo mesmo sistema de posicionamento DGNSS, mas em dois modos distintos, em função da distância à área de sondagem e da capacidade de receção das correções diferenciais, em *Real Time*

*Kinematic* (RTK) na prioridade 1 (P1) e DGNSS clássico nas prioridades 2 e 3 (P2 e P3), sendo as correções enviadas de duas estações de referência instaladas em pontos de coordenadas conhecidas no farol de V. R. Sto. António. Recorreu-se, ainda, à unidade Seapath200RTK para integrar a informação de posicionamento com a de atitude recolhida pelo sensor inercial Kongsberg MRU 5.

As duas equipas hidrográficas efetuaram, sempre que necessário, a coleta de perfis da velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água, separadamente e com recurso a equipamentos próprios. Os perfis foram aplicados aos dados quando adequado (na aquisição, no caso do sistema sondador multifeixe, e em pós-processamento, no sistema interferométrico).

A redução da sondagem foi efetuada ao mesmo datum vertical, tendo sido acordada a utilização do Zero Hidrográfico (ZH) português, tanto nos LHs do IHPT como nos do IHM, quer através das leituras de maré obtidas por um marégrafo de campanha, instalado numa marca de nivelamento geométrico de alta precisão junto à marina de V. R. Sto. António, quer efetuando a redução de maré utilizando o sistema RTK. Neste último caso, as altitudes GNSS referidas ao elipsoide GRS80 foram reduzidas da ondulação do geoide através da aplicação do modelo GeodPT08 (Catalão, 2008) e, posteriormente, referidas ao ZH, processo efetuado no *software* de processamento de dados CARIS HIPS and SIPS (CARIS, 2014).

Para além dos levantamentos referidos, criou-se ainda uma amarração, para comparar as capacidades de deteção de objetos dos dois sistemas acústicos (Figura 2), tendo sido utilizados vários objetos de dimensões inferiores aos exigidos pelos requisitos da ordem especial da OHI (2008), colocados no fundo e em suspensão na coluna de água.

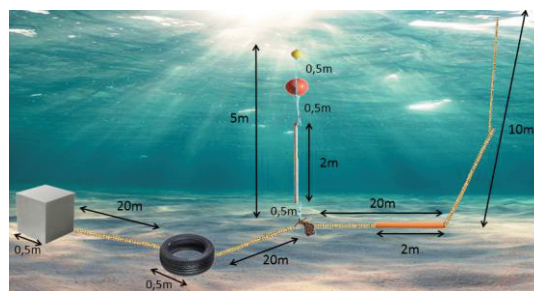


Fig. 2. Esquema da amarração dos objetos, para investigação da capacidade de deteção dos sistemas acústicos.

O processamento dos dados, a construção dos produtos finais, o controlo de qualidade dos dados e a verificação do cumprimento dos requisitos mínimos definidos pela OHI para a ordem dos LHs, foram efetuados individualmente por cada Instituto, seguindo as respetivas normas e procedimentos de trabalho em vigor. O processamento de dados multifeixe foi efetuado tendo em conta as especificações técnicas apresentadas em Vicente *et*



al., (2012) e seguindo o procedimento atual implementado no IHPT, que se baseia na modelação batimétrica com recurso ao algoritmo *Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator* (CUBE) descrito em Calder e Wells (2007). O processamento dos dados batimétricos e morfológicos do sondador interferométrico foi realizado tendo em conta as instruções internas em vigor no IHM, que em resumo consistem na conversão das fiadas de sondagem e da imagem de sonar lateral no formato RDF para o formato CARIS, criadas a partir dos dados previamente filtrados no software GS+. Finalmente, utilizou-se o algoritmo CUBE implementado no software CARIS HIPS and SIPS, embora com ligeiras diferenças em termos de parâmetros relativamente aos usados pelo IHPT.

#### 4. ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE DADOS

##### 4.1. Avaliação da conformidade de cada LH

A avaliação dos dados de cada LH foi efetuada, qualitativa e quantitativamente, por cada organismo recorrendo às ferramentas de visualização, edição e análise estatística dos softwares hidrográficos CARIS HIPS and SIPS e BASE EDITOR (CARIS, 2014). A Tabela I apresenta, para as prioridades 1 e 3, os valores estatísticos da repetibilidade e consistência dos dados, tendo em consideração a ordem especial referida na S-44 (OHI, 2008), obtidos através da ferramenta QC\_Report do CARIS HIPS (CARIS, 2014), com que se efetuou as comparações estatísticas entre as superfícies de 1 m de resolução, construídas com recurso ao algoritmo CUBE, a partir dos dados validados das fiadas principais de sondagem e dos dados das respetivas fiadas de verificação.

Tabela I – Avaliação da integridade da medição das profundidades

Áreas	Sistema acústico	N.º Comparações	OE (OHI)
P1	IHM – Geoswath	1 025 377	99,92%
	IHPT – EM 3002	3 130 739	99,26%
P3	IHM – Geoswath	786 245	99,59%
	IHPT – EM 3002	1 232 359	99,20%

A prioridade 2 corresponde a uma fiada de trânsito até ao navio naufragado SS ‘*Empire Warrior*’ e foi efetuada nas mesmas condições da prioridade 3, para os dois sistemas.

##### 4.2. Comparação entre a superfície Geoswath (IHM) validada e os dados multifeixe validados EM3002 (IHPT)

Recorrendo à ferramenta QC\_Report, usando como referência a camada de informação de profundidade final, assumida e validada pelo IHM para a prioridade 1 (profundidade estimada pelo algoritmo CUBE sobre os dados validados reduzidos do respetivo valor de incerteza), foi efetuada a

comparação estatística com a nuvem de pontos dos dados multifeixe validados pelo IHPT. Seguindo este procedimento, foram comparadas 81 069 245 sondas, encontrando-se 97,5% na tolerância definida para levantamentos de ordem especial (OHI, 2008). Para esta comparação foi propositadamente escolhida a prioridade 1, uma vez que o LH efetuado com sistema sondador multifeixe foi garantido no modo DGNSS-RTK, que permite medir as variações espaciais e temporais da altura de maré e as variações resultantes do comportamento dinâmico da embarcação, diminuindo a incerteza associada ao posicionamento vertical das profundidades.

##### 4.3. Comparação entre superfícies validadas

Posteriormente à aquisição de dados, cada Instituto efetuou individualmente, para cada prioridade, a comparação estatística entre as superfícies validadas, considerando a sua como a superfície de referência em relação à outra. Da análise das superfícies das diferenças, de 1 m de resolução, para cada área, obtiveram-se os resultados estatísticos descritos na Tabela II.

Tabela II – Comparação estatística entre as superfícies finais validadas

Superfície das diferenças - resolução 1m Geoswath (IHM) versus EM3002 (IHPT)		
Áreas	Mean(m)	Std_Dev (m)
P1	-0,02	0,137
P3	0,05	0,064

##### 4.4. Detecção de objetos

A avaliação qualitativa dos dados foi efetuada através da visualização 2D e 3D do Subset Editor do CARIS HIPS and SIPS (CARIS, 2014), em todas as prioridades. Foi dada especial atenção às zonas de enrocamento do molhe (P1), do navio naufragado (P2) e das rochas e outras estruturas salientes relativamente ao fundo circundante (P3). Constatou-se que ambas as instituições adotaram o mesmo procedimento ao designar sondas mínimas, sempre que necessário, para salvaguardar a segurança da navegação.

No que concerne à avaliação da capacidade de deteção de objetos, a amarração, com os objetos de dimensões conhecidas, colocada dentro do estuário à profundidade média de 10 m, permitiu comprovar que os sistemas em estudo são capazes de identificar os objetos. No entanto, e independentemente do sistema, salienta-se que a deteção não é um processo simples, claro e direto, sendo necessária uma análise rigorosa por um hidrógrafo experiente, utilizando as diversas ferramentas disponíveis. No caso do sistema sondador multifeixe, apenas foi possível detetar os objetos, por terem sido recolhidos e analisados os dados de retrorefletividade referentes à coluna de água, conforme ilustrado na Figura 4, uma vez que o algoritmo de deteção do fundo do sondador não os identificou. No sistema interferométrico foi possível reconhecer os objetos



através da análise cuidada e da identificação de contactos na camada de informação de retrorefletividade, ilustrada na imagem de sonar lateral na Figura 5, permitindo posteriormente o processamento das profundidades em conformidade.

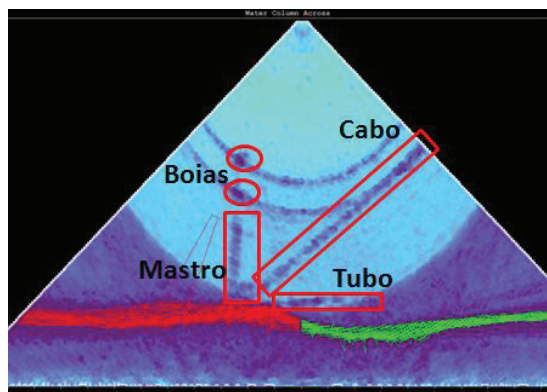


Fig. 4. Detecção de objetos – imagem dos dados da coluna de água do sondador Kongsberg EM 3002.

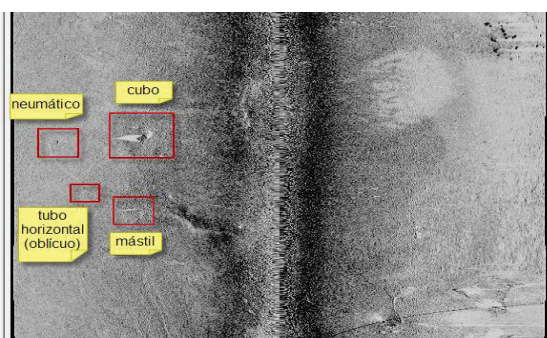


Fig. 5. Detecção de objetos – identificação dos contactos na imagem de sonar lateral do Geoswath500+

## 5. TRABALHOS FUTUROS

A fase seguinte do projeto de Colaboração Hidrográfica visa a comparação dos sistemas disponíveis para fundos intermédios, entre os 10 e 80 m e entre os 100 e 500 m de profundidade, prevendo-se que decorra no período de 14 a 17 de maio de 2014, a bordo de três navios hidrográficos, o português NRP ‘Almirante Gago Coutinho’ equipado com o sistema sondador multifeixe Kongsberg EM 710 e dois navios hidrográficos espanhóis, o ‘Antares’ e o ‘Tofiño’, equipados com sistemas sondadores multifeixe Kongsberg EM 2040 e EM 3002, respetivamente. Estes navios irão realizar um exercício militar na área científica da hidrografia, para comparação das capacidades hidrográficas dos sistemas instalados e para troca de experiências e conhecimentos na operacionalidade dos mesmos. Posteriormente serão agendadas reuniões técnicas para partilha, análise e discussão de resultados, tal como se fez para os sistemas de baixos fundos. Também está prevista a elaboração de artigos científicos para difusão das mais-valias deste tipo de colaboração e a exposição dos resultados, quer para os utilizadores dos sistemas sondadores quer para a comunidade científica e hidrográfica em geral.

## 6. CONCLUSÕES

A partilha de experiências, conhecimentos científicos, metodologias e procedimentos técnicos, em termos hidrográficos, entre os dois países, possibilitou, nesta primeira fase, reiterar a qualidade dos serviços prestados pelos Institutos Hidrográficos de Portugal e de Espanha, em LHs portuários e em canais de navegação, em zonas de profundidades baixas, onde o resguardo à quilha é crítico e onde os requisitos mínimos definidos na publicação S-44 (OHI, 2008) são mais exigentes, dada a grande importância do conhecimento rigoroso das profundidades nestas áreas para a segurança da navegação. No Rio Guadiana, a colaboração permitiu, ainda, comparar as capacidades operacionais dos sistemas acústicos usados, o sistema multifeixe (EM3002) e o sistema interferométrico (Geoswath500+). Permitiu, também, partilhar e discutir diferentes metodologias e formas de operacionalizar os sistemas, de modo a rentabilizar e a otimizar a sua performance, face aos objetivos pré-definidos para cada levantamento hidrográfico, isto é, a cobertura completa, a busca total do fundo e a deteção de objetos de dimensões adequadas e relevantes, no intervalo de profundidades da área de trabalho, tendo em consideração as máximas incertezas admissíveis nas componentes horizontal e vertical.

A operacionalidade do sistema interferométrico Geoswath500+Compact, rececionado recentemente pelo IHPT, é um exemplo claro que evidencia a importância deste tipo de colaboração, uma vez que os procedimentos adotados se basearam na experiência, no modo de operacionalizar o sistema e nos procedimentos em pós-processamento implementados e partilhados, pelo IHM, no âmbito deste projeto.

## REFERÊNCIAS

- Calder, B. e Wells, D. (2007). *CUBE User's Manual*, University of New Hampshire
- CARIS (2014), “*HIPS and SIPS 8.1 – User Guide*”, CARIS
- Catalão, J. (2008). “*GodPT08 – Um modelo de geóide para Portugal continental*”, Universidade de Lisboa
- IHO (2008). *S-44 IHO Standards for Hydrographic Surveys*, 5<sup>a</sup> Ed.
- Kongsberg (2012). “*GeoSwath Plus Operation Manual*”, Kongsberg Geoacoustics.
- Decreto-Lei n.º 43177, de 22 de Setembro de 1960, Diário da República Portuguesa, Série I A
- Vicente, J., R. Silva, P. Sanches e M. Arenga (2012). “*Revisão das Especificações Técnicas para a execução de Levantamentos Hidrográficos*”, 2<sup>as</sup> Jornadas de Hidrografia, Instituto Hidrográfico

## Integração dos dados LiDAR batimétrico na Cartografia Náutica

A. Moura<sup>(1)</sup>, P. Sanches<sup>(1)</sup>, C. Monteiro<sup>(1)</sup>, M. Silva<sup>(2)</sup> e A. Mariano<sup>(3)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico [ana.moura@hidrografico.pt](mailto:ana.moura@hidrografico.pt)

(2) Direção Geral do Território

(3) Agência Portuguesa do Ambiente, I. P.

**Resumo:** A informação adquirida com recurso à tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*) batimétrico é uma valia para a cartografia náutica porque permite a completude da representação batimétrica em águas pouco profundas nas Cartas Náuticas, em zonas costeiras onde existem diversos perigos que inviabilizam a realização de levantamentos hidrográficos com embarcações.

A informação de LiDAR foi adquirida no âmbito do Programa Operacional Temático Valorização do Território (POVT) que resultou de uma parceria entre a Direção Geral do Território (DGT) e a Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. (APA). Este programa viabilizou a recolha de informação geográfica de base que permite caracterizar as áreas costeiras de Portugal continental.

A informação batimétrica adquirida por LiDAR foi analisada pelo Instituto Hidrográfico e foram selecionadas algumas zonas para se integrar esta informação na completude da representação batimétrica nas CN. Apresenta-se o caso prático para Póvoa de Varzim e Vila do Conde.

**Palavras-chave:** LiDAR, Batimetria, Cartografia Náutica.

### 1. INTRODUÇÃO

O Instituto Hidrográfico (IH) é o organismo responsável pela produção e atualização da Cartografia Náutica em Portugal. A informação batimétrica representada nas Cartas Náuticas (CN) provém, tipicamente, de Levantamentos Hidrográficos (LH) realizados pelo IH recorrendo a sondadores acústicos de Multifeixe e Feixe Simples.

No presente ano, 2014, o IH concretizou mais um marco importante na produção cartográfica ao integrar, pela primeira vez, informação batimétrica adquirida pela tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*).

Os dados LiDAR foram adquiridos ao abrigo do Programa Operacional Temático Valorização do Território (POVT) que resultou de uma parceria entre a Direção Geral do Território (DGT) e a Agência Portuguesa do Ambiente (APA, I. P.).

O controlo de qualidade dos dados LiDAR batimétrico foi realizado pela Divisão de Hidrografia do IH, ao abrigo do protocolo estabelecido para esse efeito, por comparação estatística com LH efetuados com sondadores acústicos propositadamente para esse fim ou com LH disponíveis na base de dados batimétricos do IH. Após o controlo de qualidade foram selecionadas três zonas como potenciais para integração da informação LiDAR batimétrico na cartografia náutica: Nazaré, Póvoa de Varzim e Vila do Conde e Viana do Castelo.

O caso prático que se apresenta neste artigo refere-se à zona de Póvoa do Varzim e Vila do Conde. A nova carta desta zona, publicada pelo IH, a 1ª edição da CN 26410, integra a informação baseada nos referidos dados.

### 2. ÂMBITO DE AQUISIÇÃO DOS DADOS LiDAR

Portugal tem uma vasta extensão de costa atlântica sujeita à forte ação do mar sendo crucial o conhecimento profundo dessa área para a sua conservação. Dando resposta a essa necessidade foi criado o Sistema de Monitorização do Litoral, inserido no Plano de Ação para o Litoral da responsabilidade APA, I. P. Numa estreita parceria e com o apoio financeiro do POVT, a DGT e a APA, I. P. promoveram a aquisição de informação geográfica de base (Silva *et al.*, 2012). De entre os diversos produtos adquiridos destaca-se o levantamento com tecnologia LiDAR numa faixa de 400 m em terra (LiDAR Topográfico), com resolução de 1 m, e 600 m na zona de interface terra/mar (LiDAR Batimétrico) cobrindo áreas de baixas profundidades, com resolução de 2 m.

O papel da informação geográfica de base é servir o mais vasto leque de utilizações possível. A DGT, como ponto de contacto para o fornecimento deste produto, conta já com diversos utilizadores que solicitaram esta informação para diversos projetos distribuídos ao longo de vários pontos da costa Atlântica de Portugal continental. Apenas como referência apontam-se aqui alguns desses projetos:

- Determinação com maior rigor da linha de base normal em Portugal continental e ajuste do sistema de linhas de base reta ao sistema de referência espacial atualmente em vigor, elementos fundamentais para a proposta de extensão da plataforma continental Portuguesa - EMEPC;
- Caracterização detalhada de morfologias litorais quaternárias e seus posicionamentos, com o objetivo de caracterizar movimentos verticais litorais de Sudoeste Português, integrando-se estes

resultados em estudos de Sismotectónica e Neotectónica - LATTEX, FCUL;

- Programa doutoral ‘*Ajustamentos termohalinos induzidos por alterações climáticas e intervenções antrópicas em lagunas de características constantes: Ria de Aveiro e Ria Formosa*’ - Núcleo de Modelação Estuarina e Costeira, Laboratório CESAM;
- Informação de base para a produção da cartografia de tsunamis (para o plano sectorial de riscos) - IPMA;
- Informação de base para estudos executados nas zonas costeiras - LNEC;
- Trabalho de investigação no âmbito da geração automática de malhas para modelos hidrodinâmicos em ambientes estuarinos e costeiros - IST;
- SCARPS - *Reconstruction of the shoreline position along the Portuguese coast over the last 6000 years - Analysis of the architecture and stratigraphy of sand barriers* - LNEG

Para além dos projetos referidos, esta informação foi integrada pela DGT na plataforma SIARL (Sistema de Informação de Apoio à Reposição da Legalidade). Esta plataforma disponibiliza um vasto conjunto de informação geográfica e processual sobre a zona costeira, para todas as entidades envolvidas na sua gestão. Estes dados são também fundamentais para a prossecução das competências da APA, I. P., nomeadamente para o desenvolvimento de estudos que permitam conhecer a evolução da dinâmica da orla costeira, contribuindo para uma gestão desta zona mais eficiente e proactiva através de intervenções planeadas em áreas de risco.

Como responsáveis pela promoção deste levantamento, a APA, I. P. e a DGT veem com agrado a utilização diversificada e abrangente deste tipo de Informação Geográfica.

A informação de LiDAR batimétrico, sendo informação georreferenciada de base com valor de profundidade associado, poderá ser considerada, após adequada avaliação, como fonte de informação batimétrica para a completude da representação batimétrica nas CN em águas pouco profundas.

### 3. IMPORTÂNCIA DOS DADOS LiDAR NA CARTOGRAFIA NÁUTICA

A informação batimétrica adquirida por LiDAR em águas pouco profundas tem vindo a ser utilizada, de uma forma crescente, na comunidade hidrográfica internacional para a produção e atualização de CN. Esta informação tem vindo a ser usada não só em áreas onde é difícil a realização de LH com sondadores acústicos, mas também em áreas onde, em termos de navegação, o resguardo à quilha não é

crítico, onde não é requerida busca total do fundo, onde a cobertura batimétrica é escassa ou onde ainda não existe cobertura. É reflexo disto, a atualização da publicação S-44 da OHI (Organização Hidrográfica Internacional) (*IHO Standards for Hydrographic Surveys*), com a publicação da 5ª Edição em 2008, onde passa a existir menção específica aos dados adquiridos por LiDAR batimétrico.

Em Portugal continental, as zonas pouco profundas junto a costa (sensivelmente entre os 0 e 10m) são comumente caracterizadas pela presença de rebentação e diversos perigos, que impossibilitam a recolha de dados batimétricos recorrendo aos LH tradicionais com embarcação. Nas áreas não sondadas junto a costa, a cobertura efetuada com a tecnologia LiDAR permite a completude de informação batimétrica. Os dados LiDAR assumem também um papel relevante na identificação de perigos para a navegação, na melhor definição da zona de influência de marés e na representação da linha de costa.

Embora se tratem de áreas onde, de uma forma geral, não é recomendada a navegação, torna-se essencial a sua correta representação, não só em termos cartográficos, como em termos de navegação onde é vital ter uma noção de como se desenvolvem os fundos, onde se localizam os perigos, bem como a identificação visual das características costeiras.

### 4. PRECAUÇÕES NA INTEGRAÇÃO DOS DADOS LiDAR NA CARTOGRAFIA

Existem alguns conceitos que necessitam de estar presentes quando se faz a integração dos dados LiDAR com os dados provenientes de sondadores acústicos, para a representação cartográfica.

Os dados LiDAR, embora sejam uma fonte de informação relevante, e atualmente estarem a ser integrados em áreas não sondadas, é essencial conhecer e perceber a metodologia de aquisição e suas limitações. A qualidade dos dados, densidade de informação e incerteza das medições de profundidade são afetadas, em grande parte, pelo tipo de fundo e sua refletividade, e pelas propriedades oceanográficas que variam, não só ao longo da coluna de água, como também de lugar para lugar, e ao longo do tempo. Das propriedades oceanográficas, a que mais afeta a qualidade dos dados LiDAR e limita o alcance e a deteção do fundo é a turbidez, contribuindo para este parâmetro a quantidade de material orgânico dissolvido e a quantidade e tipo das partículas em suspensão (Guenther *et al.*, 2000).

O conhecimento da data e hora de aquisição dos dados, quando disponível, permite determinar um conjunto de fatores que podem influenciar as propriedades oceanográficas da coluna de água (com variação espacial e temporal), nomeadamente, a



agitação marítima, tipo de maré e estação do ano em que foram adquiridos. Esta análise é importante quando se pretende integrar os dados de LiDAR batimétrico na cartografia náutica, porque permite inferir sobre a qualidade dos dados e desvios em profundidade esperados, principalmente em áreas não sondadas, sem informação para comparar.

Deste modo, é essencial que os dados LiDAR sejam alvo de uma validação e controlo de qualidade antes de serem considerados para a produção cartográfica.

Embora seja uma ferramenta importante na deteção de objetos e perigos para a navegação, é necessário ter em mente que a resolução espacial dos dados de LiDAR batimétrico não é tão grande quanto a dos sondadores acústicos e, objetos de pequena dimensão (estruturas cúbicas com 1 e 2 m de aresta) podem não ser detetados (Gianoutsos *et al.*, 2007).

É ainda essencial conhecer qual o *datum* vertical a que se referem os valores de profundidade e, se necessário, reduzi-los para o *datum* vertical das CN – o Zero Hidrográfico (ZH), para os valores de profundidade.

## 5. APLICAÇÃO PRÁTICA DOS DADOS LiDAR NA CN26410

A 1ª Edição da CN26410 – Póvoa de Varzim e Vila do Conde, publicada em abril do presente ano, foi a segunda carta a ser publicada com representação de informação batimétrica obtida a partir de dados LiDAR. Trata-se de uma nova carta do Fólio Cartográfico Nacional, ou seja, até à data de publicação não existia nenhuma carta com as mesmas características (limites, escala e sistema geo-cartográfico).

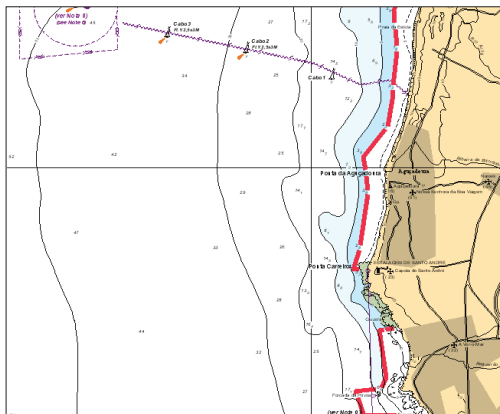


Fig. 1. Extrato da CN 26410 com representação, a vermelho, das áreas onde não existe informação batimétrica adquirida por sondadores acústicos.

Para esta carta, os dados LiDAR permitiram a completude da informação batimétrica ao longo de uma faixa que se desenvolve em toda a sua extensão ao longo da linha de costa, onde nunca foram efetuados LH com sondadores acústicos (Fig. 1). Esta faixa é caracterizada por fundos baixos e com diversos afloramentos rochosos (quer estejam

submersos, aflorem ao nível do ZH ou estejam sempre a descoberto).

Deste modo, para além da completude batimétrica, os dados LiDAR revelaram-se importantes na identificação de potenciais perigos para a navegação, definição da zona de influência de marés (que cobre e descobre com a maré e é representada a verde nas CN) e determinação da linha de costa.

A mais valia dos dados LiDAR foi potenciada com a utilização e interpretação de ortofotos cedidos pela DGT que, de uma forma geral, em fundos baixos permitem avaliar visualmente, o tipo de fundo e se existem rochas que descobrem com a maré apresentando rebentação ao seu redor.

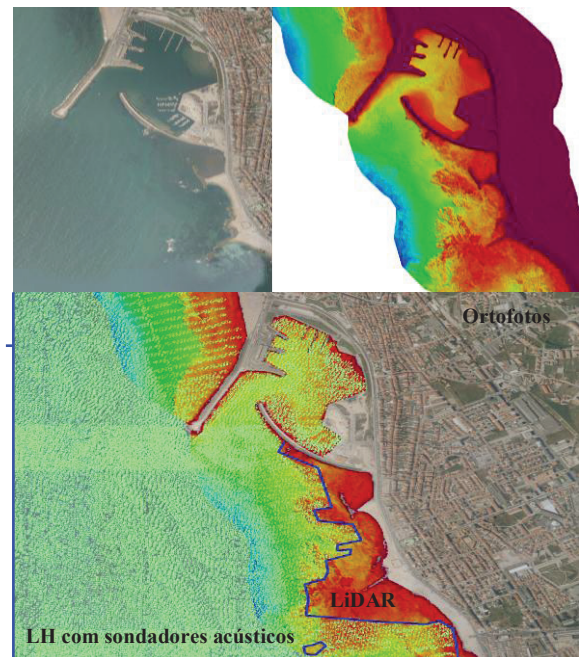


Fig. 2. Representação da informação batimétrica obtida por LH com sondadores acústicos, informação LiDAR e Ortofotos.

Para a determinação da linha de costa e da zona de influência de marés, a informação aproximada que se pode retirar dos ortofotos (quando existem) por interpretação visual, ganha outra dimensão com a integração dos dados de LiDAR por estes apresentarem um valor altimétrico associado. Sabendo que a linha de costa representada numa CN corresponde à linha de PMmáx. (Preia Mar Máxima), cujo valor é facultado pela Divisão de Oceanografia, e que a zona de influência de marés encontra-se entre a linha de costa e o ZH (ao ZH corresponde profundidade zero), é possível representar estas linhas a partir dos dados LiDAR.

Os dados LiDAR batimétrico foram utilizados apenas em áreas não sondadas onde, normalmente, não é recomendada a navegação, prevalecendo sempre a informação adquirida a Feixe Simples ou a Multifeixe nas zonas de sobreposição de informação, por se tratar de coberturas sistemáticas com sistemas acústicos adequados e metodologias estabelecidas e aprovadas, e porque a experiência na utilização de

dados de LiDAR batimétrico é ainda reduzida. Ainda não se adquiriu conhecimento concreto sobre o comportamento dos dados LiDAR batimétrico numa costa idêntica à de Portugal continental, com características oceanográficas e ondulação particulares.

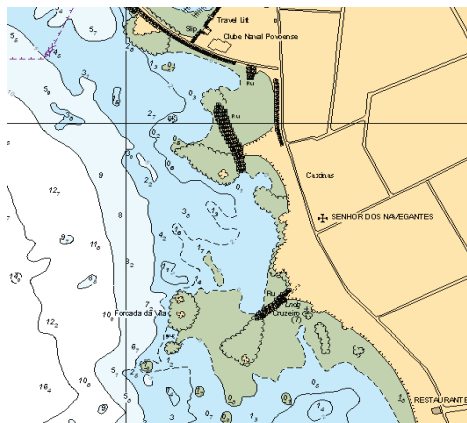


Fig. 3. Excerto da CN 26410 com representação de dados batimétricos provenientes de sondadores acústicos integrados com informação LiDAR.

Por estas razões, nas áreas onde a fonte de informação batimétrica tenha sido os dados LiDAR, optou-se por representar as isobatimétricas com a simbologia recomendada pela OHI para a linha isobatimétrica aproximada, explanada na publicação S-4 e não se escolheram valores de profundidade para a representação na carta. As áreas onde foram utilizados dados de LiDAR batimétrico figuram no Diagrama de Compilação (Fig. 4) devidamente limitadas, representadas com uma área a branco e com a respetiva legenda que remete para a nota “Área Inadequadamente Sondada”.

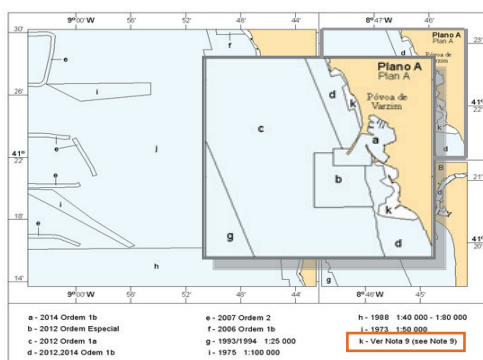


Fig. 4. Diagrama de Compilação da CN 26410.

- 9 - **Área Inadequadamente Sondada** - As isobatimétricas representadas nesta área foram baseadas na informação obtida com equipamento LiDAR batimétrico em 2011, da autoria da Agência Portuguesa do Ambiente (APA, I.P.) e da Direção Geral do Território (DGT) e fornecida pela DGT.
- **Inadequately Surveyed Area** - Inside this area, depth contours were based on bathymetric LiDAR equipment data obtained in 2011, issued by the Portuguese Direção Geral do Território (DGT) and Agência Portuguesa do Ambiente (APA, I.P.).

Fig. 5. Nota explicativa sobre a utilização de dados adquiridos com LiDAR batimétrico na carta.

Ao longo de toda a carta, junto das áreas onde foram utilizados dados LiDAR, figura um bloco de texto “Ver Nota” que remete, igualmente, para a nota

explicativa sobre a fonte de informação utilizada (Fig. 5).

## 6. CONCLUSÕES

O LiDAR batimétrico, à semelhança de qualquer outra tecnologia, encontra-se em desenvolvimento e apresenta-se como uma nova ferramenta e fonte de informação a ser considerada na modelação batimétrica para produção de cartografia náutica.

Além do controlo de qualidade posterior ao processamento dos dados, e prévio à utilização dos mesmos, o conhecimento da data e hora de aquisição é fundamental para se perceber as condições de agitação marítima e meteorológicas e propriedades oceanográficas da coluna de água aquando da aquisição. Uma análise criteriosa dos dados, carta a carta, em função da cobertura a que se destinam contribui também para um melhor modelo de fundo.

Apesar de, atualmente, os dados LiDAR serem utilizados apenas em áreas não sondadas junto a costa, que seriam representadas a branco e sem informação nas CN, estes permitem a completude da informação batimétrica fornecendo ao navegador uma ideia de como se desenvolvem os fundos, identificação de perigos e definição das zonas de influência de marés e linha de costa.

O seu grande valor é poder alcançar e “ver o fundo do mar” em zonas pouco profundas onde não é possível realizar LH com sondadores acústicos a bordo de embarcações.

Contudo, o LiDAR batimétrico não substitui os sondadores acústicos, que têm capacidade de adquirir dados com elevada resolução, e onde são essenciais no conhecimento do fundo e identificação de pequenos objetos nos canais de navegação e em zonas onde o resguardo à quilha é crítico, onde é requerida a busca total do fundo, garantindo a segurança da navegação.

## REFERÊNCIAS

- Gianoutsos, N., Greenaway, S., Evans, B. e Noll, G. (2007). Field Integration of LiDAR and Sonar Hydrography Surveys. US Hydrography Conference.
- Guenther, G., Cunningham, A., LaRocque, P. e Reid, D. (2000). Meeting the Accuracy Challenge in Airborne LiDAR Bathymetry. Proceedings of EARSel-SIG-Workshop LiDAR, Dresden, June 16-17.
- IHO (2008). *S-44 IHO Standards for Hydrographic Surveys*, 5<sup>a</sup> Ed.
- Silva, M., Patrício, P., Mariano, A., Morais, M., Valério, M. (2012). Obtenção de dados LiDAR para as zonas costeiras de Portugal Continental. Atas das 2<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Instituto Hidrográfico, 19-22.

## Eventos extremos e a variação do nível do mar

C. Antunes<sup>(1)</sup>

(1) IDL – Instituto Dom Luiz, FCUL, Universidade de Lisboa. cmantunes@fc.ul.pt.

**Resumo:** As variações do nível do mar com origem em eventos extremos e anómalos têm forte impacto nas zonas costeiras de Portugal, em particular, eventos de grande sobre-elevação meteorológica e de forte agitação marítima, como a que se assistiu no último inverno. A monitorização do nível do mar, de forma criteriosa, através dos dados dos marégrafos de Cascais e Lagos tem permitido uma análise dos fenómenos forçadores destes eventos, bem como, um estudo da relação com as oscilações do nível do mar e os impactos de erosão, galgamento e inundação costeira. A comunicação, para além de apresentar o estudo preliminar da estimativa de cotas máximas de galgamento e inundação, pretende iniciar uma discussão sobre a caracterização das tempestades geradoras dos eventos de sobre-elevação meteorológica e agitação marítima forte. Serão apresentadas análises de alguns exemplos de cotas máximas de galgamento de eventos recentes que tiveram forte impacto costeiro, valores que ultrapassaram os 7 m de galgamento em casos extremos.

**Palavras-chave:** nível do mar, eventos extremos, sobre-elevação, galgamento, inundação, erosão costeira.

### 1. INTRODUÇÃO

A análise da incidência de temporais na costa portuguesa, quer ao nível da caracterização dos processos quer ao nível da avaliação das consequências, é hoje um dos temas actuais e pertinentes para a gestão e defesa da orla costeira. Os elevados prejuízos, sociais e económicos, justificam o esforço no estudo das causas e da avaliação dos impactos destes eventos extremos com elevado potencial destrutivo. Os elevados níveis energéticos da agitação marítima incidente com origem em temporais com valores de *fetch* elevados potenciam o poder destrutivo em litorais mais expostos e com características erosivas. Os riscos associados à erosão, galgamento e inundação de zonas vulneráveis são uma constante preocupação na costa portuguesa, pondo em causa a segurança de pessoas e bens em situações extremas.

A costa atlântica portuguesa é assolada normalmente por dois tipos de tempestades, as subtropicais vindas do quadrante sudoeste e as extratropicais provenientes do quadrante noroeste (Rogers, 1997). Estes dois tipos de temporais têm características distintas e causam, geralmente, impactos diferentes. As tempestades subtropicais geram-se em zonas tropicais, transportam massas de ar quente e caracterizam-se por um centro de baixas pressões, um núcleo quente, sem sistemas frontais associados e ventos fortes localizados mais longe do centro (Evans e Guishard, 2009). As tempestades extratropicais desenvolvem-se nas latitudes médias, 30 a 60°, e são caracterizados por um núcleo frio, ventos fortes e chuvas moderadas a torrenciais (Gulev *et al.*, 2001). As tempestades extratropicais do Atlântico Norte desenvolvem-se de Oeste para Este, e devido aos seus fortes ventos geram agitação marítima de elevada energia (*swell*) que atinge com maior frequência a costa britânica, o norte da Europa e frequentemente, devido à deriva para sul do *swell*, atinge também o norte da Península Ibérica. Por seu lado, as tempestades subtropicais são sistemas

cavados que originam, normalmente, sobre-elevações meteorológicas elevadas na costa portuguesa e atingem, predominantemente, a Península Ibérica de sudoeste.

A sobre-elevação meteorológica (SM) e a forte agitação marítima de elevada energia são os dois tipos de eventos extremos que têm origem nestes dois tipos de tempestades, subtropicais e extratropicais, e estão associados a elevado risco de erosão e galgamento nas zonas costeiras e, inundação das zonas ribeirinhas.

A análise da variação do nível do mar, através das séries temporais marégrafos, permite, por um lado, a caracterização das SM e a sua associação aos eventos meteorológicos forçadores, e por outro lado, permite uma avaliação da agitação marítima através da análise de modos de ondas infragravíticas.

A variabilidade atmosférica do Atlântico Norte através da sua principal oscilação, a Oscilação do Atlântico Norte (NAO – *North Atlantic Oscillation*), influencia fortemente a ocorrência destes eventos costeiros extremos, por constituir o seu principal mecanismo.

Esta comunicação, para além da discussão e dos resultados, pretende iniciar uma discussão sobre a caracterização das tempestades e o regime de circulação atmosférica que pode estar por detrás de cada tipo de evento, SM e agitação marítima forte, em conjugação ou em separado, para o caso particular da costa portuguesa.

### 2. SOBRE-ELEVAÇÃO METEOROLÓGICA E A VARIABILIDADE DO NMM

A variabilidade do NMM de curto período parece estar, em certa medida, associada a mecanismos de circulação meteorológica forçadores de oscilação inter-anual a decadal. Para se compreender melhor esta relação, realizaram-se dois estudos, um sobre a caracterização das sobre-elevações meteorológicas ao longo de 50 anos (Vieira *et al.*, 2012), e outro



sobre a correlação do índice da NAO com a oscilação do NMM observado no marégrafo de Cascais.

### 2.1. Análise e caracterização das sobre-elevações meteorológica

A variação do nível do mar em relação à oscilação periódica da maré astronómica é designada por sobre-elevação meteorológica, a qual resulta de um forçamento atmosférico associado à passagem de tempestades caracterizadas por uma grande depressão atmosférica e ventos fortes.

Da série de registos horários do marégrafo de Cascais foi feita uma análise harmónica, a partir da qual foi obtida a componente residual que corresponde à SM verificada de 1960 a 2010 (Vieira *et al.*, 2012). Sobre esta série temporal de registos horários de SM analisou-se a respectiva série das máximas amplitudes anuais e da frequência anual de SM com amplitude superior a 10 cm.

Este estudo (Vieira *et al.*, 2012) mostrou uma ligeira tendência de aumento, quer na máxima amplitude quer na frequência de SM. Embora na máxima amplitude essa tendência seja ténue, e por isso pouco conclusivo, já na frequência verifica-se uma estimativa com significativo aumento e considerável correlação. Em ambas as séries nota-se uma oscilação com período de 15 a 20 anos, apontada como provável associação às oscilações inter-decadais próprias das variações de longo período do índice da NAO.

Deste estudo obtiveram-se amplitudes de 62 e 67 cm de SM, respectivamente, para períodos de retorno de 50 e 100 anos. É pois expectável que possamos esperar, até ao final do século, valores máximos de SM na ordem dos 60 a 70 cm, tendo sido já observado um valor de 52 cm em Dezembro de 2009 (Antunes, 2011).

### 2.2. Correlação da NAO com a variabilidade do NMM

Para melhor compreender as flutuações e variações do NMM, dado pela série secular de dados do marégrafo de Cascais, analisou-se a correlação da variação residual do NMM com a série de dados do índice da NAO.

O índice da NAO é um indicador da oscilação do sistema bipolar formado pelos centros de baixa e alta pressão da região do atlântico norte, respectivamente, o ciclone da Islândia e o anticiclone dos Açores que controla a intensidade e direcção dos ventos e tempestades do atlântico norte vindos de Oeste (Rogers, 1997). Em fases de índice positivo da NAO aumenta a intensidade do centro subtropical de altas pressões e diminui, mais do que o normal, o centro polar de baixas pressões. O resultado é um inverno na Europa mais ameno e chuvoso, e um inverno seco e frio na zona norte do Canadá e Gronelândia. É neste quadro que

normalmente se desenvolvem as tempestades extratropicais que assolam o norte da Europa, tal como aconteceu neste último inverno, de Dezembro de 2013 a Março de 2014. Em fases de índice negativo da NAO verifica-se um gradiente de pressão mais baixo entre os dois centros, as altas pressões mais baixas, o deslocamento para Este do centro subtropical, as baixas pressões mais altas e o deslocamento para Oeste do centro polar. Neste quadro é típico um inverno dominado por tempestades subtropicais, como o que aconteceu no período de finais de 2009 a início de 2011.

O primeiro gráfico da Figura 1 mostra a série da média móvel de 3 meses do índice da NAO, desde 1990, onde se verifica o prolongado período do índice negativo de 2009-2011.

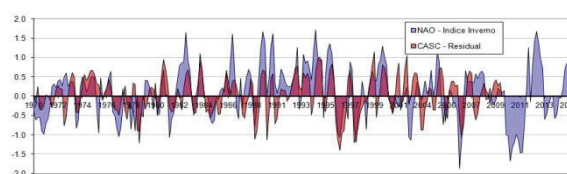


Fig. 1. Sobreposição da média móvel de 3 meses do índice da NAO de inverno com a componente residual da variação do NMM de Cascais.

Para se comparar e analisar a correlação deste fenómeno com a oscilação interanual do NMM em Cascais foi calculada uma série residual a partir da série secular (Antunes e Tabor, 2009; Antunes, 2011). Essa série é obtida pelo simétrico da diferença dos valores de média mensal com a média móvel de 10 anos. A esses valores foi aplicada, à semelhança da série do índice da NAO, uma média móvel de 3 meses. Esta série está representada de forma sobreposta no gráfico da Figura 1 e está calculada apenas até 2009, pelo facto da curva de tendência, dada pela média móvel centrada de 10 anos, terminar 5 anos antes dos últimos dados.

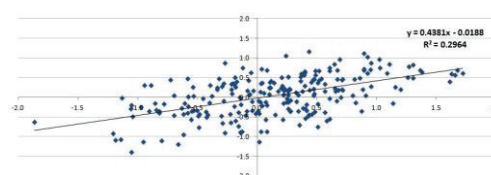


Fig. 2. Correlação entre o índice da NAO de inverno e a componente residual da variação do NMM de Cascais.

A valores de índice negativo da NAO correspondem, normalmente, valores positivos da oscilação do NMM que ocorrem em períodos de SM frequentes, sobrelevando o NMM acima do seu valor médio decadal. Estes períodos estão, normalmente, associados a tempestades subtropicais.

A Figura 2 mostra a correlação dos dados das duas séries calculada apenas com índice da NAO de inverno, com dados de 1960 a 2009, evidenciando a existência de uma correlação entre a NAO e a oscilação interanual média do NMM em Cascais. Este facto mostra que a períodos de NAO negativa correspondem períodos de NMM sobre-elevado e a

períodos de NAO positiva correspondem períodos NMM sub-elevado (com SM nula ou negativa).

### 3. AGITAÇÃO MARÍTIMA, GALGAMENTOS E INUNDAÇÕES

A forte agitação marítima que chega à costa portuguesa é, na maior parte dos casos, gerada por tempestades extratropicais que se formam no Atlântico Norte e se desenvolvem de Oeste para Este com elevado *fech*. Os ventos persistentes e concentrados no núcleo das tempestades formam largas áreas de atrito entre o mar e a atmosfera, potenciando a geração de ondas de *swell*.

No período de final de Dezembro de 2013 a início de Março de 2014 assistiu-se a uma sequência de eventos extremos na costa oeste da Europa. Este período foi caracterizado por uma intensa e persistente agitação marítima que causou consideráveis danos costeiros devido à erosão e ao galgamento das ondas.

Apesar de o tipo de agitação que atingiu a nossa costa portuguesa estar dentro dos parâmetros normais, com ondas significativas da ordem dos 8 a 10 m e períodos de 13 a 16 segundos, a quantidade e intensidade de eventos desta natureza que se repetiram em menos de 3 meses é efectivamente pouco habitual. A ocorrência de grandes períodos de onda de 22 segundos, como na tempestade Hércules de 6 a 7 de Janeiro de 2014, é de igual modo atípico, tendo causado danos consideráveis e atingido galgamentos que não são comuns para esta altura significativa de onda.

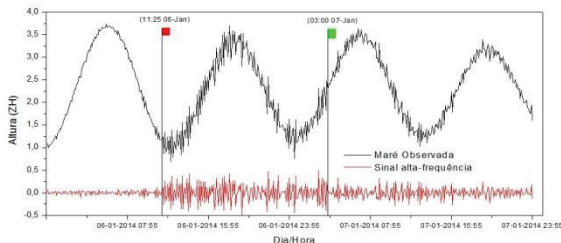


Fig. 3. Registo da maré em Cascais (preto) e diferença entre a maré registada e a maré prevista (SM a vermelho), com oscilação de alta frequência de maré correspondente à passagem da tempestade Hercules.

A tempestade Hercules constitui um bom exemplo do tipo de tempestades extremas, gerando ondas que atingiram os 20 m de altura e 20 a 23 segundos de período. Esta tempestade atingiu fortemente a costa britânica e a parte ocidental da Europa continental, incluindo a Península Ibérica, com severos danos nas zonas costeiras.

Na Figura 3 é visível o momento da chegada do forte *swell* associado à tempestade Hercules com elevado sinal de oscilação de alta frequência de maré, cujo espectro está representado na Figura 4, na qual se observam dois grupos de ondas infragravíticas, um de 12 minutos e outro em torno dos 15 minutos de período. Na Figura 3 é também

notório a ausência de sobre-elevação meteorológica (média da curva a vermelho) neste evento extremo.

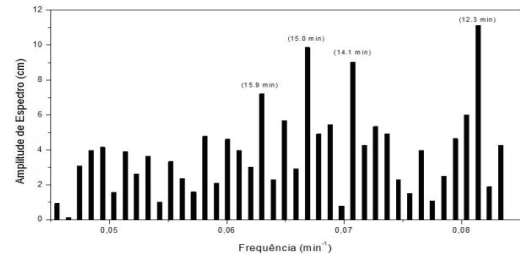


Fig. 4. Espectro das ondas de alta frequência de maré, registadas no mareógrafo de Cascais no período de passagem da tempestade Hercules.

A monitorização destes eventos, de Janeiro a Março de 2014, e o cálculo das cotas máximas de galgamento através do *runup* total das ondas, sobreposto à previsão de maré meteorológica para cada uma das tempestades, permitiu concluir que ocorreram vários galgamentos que excederam os 6 m de cota nas preias-mar (PM), tendo mesmo excedido os 7 m em períodos de PM de águas-vivas (AV). Facto que está de acordo com a observação e os relatos de todas as ocorrências que se verificaram desde meados de Dezembro de 2013 até ao início de Março de 2014.

Nesta comunicação apresentamos o cálculo de estimativa da cota máxima de galgamento com base na maré astronómica, na SM e no *runup* total para três casos, as tempestades HERCULES de 6 de Janeiro, BRIGID de 2 de Fevereiro e STEPHANIE de 8 de Fevereiro de 2014.

A metodologia de cálculo do *runup* total usada segue o método DIM (*Direct Integration Method*), um método unidimensional que estima a componente estática e dinâmica do *setup* das ondas. É um método recomendado pela agência americana de protecção civil (FEMA, 2005) e aplicado em várias zonas da costa americana (Conner *et al.*, 2011). É também um método diferente do usado por trabalhos aplicados na costa portuguesa, como por exemplo, em Didier e Neves (2009).

Basicamente, seguindo a metodologia de FEMA (2005), o *runup* total inclui três componentes: 1) o *setup* estático das ondas,  $\bar{\eta}$ ; 2) o *setup* dinâmico das ondas,  $\hat{\eta}$ ; e 3) o *runup* de incidência das ondas (espraio),  $R_{inc}$ , sendo dado por:

$$R = \bar{\eta} + \hat{\eta} + R_{inc} \quad (1)$$

onde  $\bar{\eta}$  e  $\hat{\eta}$  correspondem, respectivamente, à amplitude média e à componente de oscilação do *setup* das ondas.

O *runup* de incidência,  $R_{inc}$ , corresponde ao *runup* excedido por 2% de todos os *runup*, e é expresso em termos do número Iribarren,  $\xi$ , calculado para um declive de 2% e com valores de altura significativa ( $H_0$ ) e período da onda ao largo:

$$R_{inc} = 0.6\xi_0 H_0 \quad (2)$$

A componente estática do *setup* é definida a partir do produto de 4 factores, da altura da onda ( $F_H$ ), do período da onda ( $F_T$ ), do declive ( $F_{Slope}$ ) e de um factor espectral ( $F_{Gamma}$ ):

$$\bar{\eta} = 4.0 F_H F_T F_{Gamma} F_{Slope} \quad (3)$$

Já a componente dinâmica do *setup* é definida a partir da combinação do desvio padrão da oscilação do *setup*,  $\sigma_1$ , e do desvio padrão do *runup* de incidência,  $\sigma_2$ , resultando na seguinte expressão:

$$\hat{\eta} = 2.0 \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (4)$$

Nos factores e coeficientes aqui usados, para efeitos de análise generalista, foram fixados valores de forma a tornar os resultados adequados aos casos de galgamento de estruturas observados neste período de temporais, que ocorreram na Costa da Caparica, Carcavelos, Estoril e Praia Grande.

Com base neste método de integração directa foi feito o cálculo das estimativas da cota máxima de galgamento para as várias tempestades, através da soma da maré meteorológica com o *runup* total:

$$H_{max} = (h_{maré} + SM) + R - ZH \quad (5)$$

onde o zero hidrográfico, ZH é igual a 2.08 m, para o caso de Cascais, obtendo-se deste modo a cota máxima de galgamento relativa ao NMM. Para a SM foi utilizado uma índice empírico considerando o efeito barométrico inverso e as componentes meridional e zonal do vento, considerando a velocidade (V) e o rumo da direcção do vento (R).

$$SM = EBI - aV \cos R_v - bV \sin R_v \quad (6)$$

Na Tabela 1 estão listadas todas as ocorrências mais significativas deste período, relativamente às tempestades aqui consideradas, Hércules, Brigid e Stephanie, com os valores de cota máxima de galgamento calculada por (5).

Tabela 1. Cálculo da cota máxima de galgamento ( $H_{max}$ , em relação ao NMM), em função da maré em preia-mar (PM), da SM (em cm) e do *runup* total (Rup). Tempestade Hércules de 6 de Janeiro, tempestade Brigid de 2 de Fevereiro e tempestade Stephanie de 8 de Fevereiro.

Data	H	PM	SM	Hs	P	Rup	Hmax
6/01	18:30	3.36	+3	8.5	21	6.1	7.4
7/01	6:53	3.48	+4	6.8	18	4.8	6.3
2/02	4:00	4.06	-10	9.0	16	5.8	7.7
2/02	16:25	3.75	-3	7.5	16	5.0	6.7
8/02	22:17	2.86	-1	9.0	16	5.8	6.6
9/02	10:54	2.78	16	7.5	15	4.9	5.8
9/02	23:27	2.94	10	9.0	13	5.4	6.4

Tomando como referência as cotas dos paredões da Costa da Caparica, Carcavelos, Estoril e Praia Grande, que vão dos 5.1 m na praia do Tamariz a 6.4 m na praia do CDS, os valores aqui obtidos para a cota máxima de galgamento confirmam os efeitos das tempestades observados neste período.

#### 4. CONCLUSÕES

Nesta comunicação apresenta-se uma hipótese de relação entre o tipo de temporal e os eventos que atingem a costa portuguesa, hipótese que carece de um estudo mais aprofundado e baseado numa análise

rigorosa de acoplamento de modelos de circulação meteorológica e oceânica, corridos sobre séries temporais com períodos significativos de dados.

Os resultados que se obtiveram no cálculo das cotas máximas de galgamento mostram coerência com os registos e observações e, evidenciam um método empírico que aparenta ser adequado, com capacidade de adaptação a diferentes perfis costeiros.

#### Agradecimentos

Fundação para a Ciência e Tecnologia, Financed by Project FCT: “Pest-Oe/CTE/LA0019/2013-2014”.

#### REFERÊNCIAS

- Antunes, C. and Taborda, R. (2009). Sea level at Cascais tide gauge: data, analysis and results. *J. of Coastal Research, SI 56: Proc. of the 10th Int. Coastal Symp.*, p. 218-222, ISSN 0749-0258.
- Antunes, C. (2011). Monitoring sea level change at Cascais tide gauge. *J. of Coastal Research, SI 64 (Proc. of the 11th Int. Coastal Symp.)*, , ISSN 0749-0258, p. 870-874.
- Conner, K., Kerper, D., Winter, L., May, C., and Schaefer, K. (2011.) Coastal Flood Hazards in San Francisco Bay-A Detailed Look at Variable Local Flood Responses. Solutions to Coastal Disasters 2011: pp. 448-460.
- Didier, E.; M.G. Neves (2009). Wave Overtopping of a Typical Coastal Structure of the Portuguese Coast Using A SPH Model. *J. Coastal Res.*, SI 56: 496-500.
- Evans, J.L.; M.P. Guishard (2009). Atlantic subtropical storms. Part I: Diagnostic Criteria and composite analysis. *Am.Meteo.Soc.*, 137:2065-2080.
- FEMA, (2005). Guidelines and Specifications for flood hazard mapping partners. *Appendix D: Guidelines for Coastal Flooding Analysis and Mapping*, Federal Emergency Management Agency, www.fema.gov/fhm/dl\_sgs.shtm.
- Gulev, S.K., O. Zolina, S. Grigoriev (2001). Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data. *Climate Dynamics*, Springer-Verlag, 17: 795-809.
- Rogers, J.C. (1997). North Atlantic storm track variability and its association to the North Atlantic Oscillation and climate variability of Northern Europe. *Am.Meteo.Soc.*, 10:1935-1947.
- Vieira, R., C. Antunes e R. Taborda (2012). Caracterização da sobrelevação meteorológica em Cascais nos últimos 50 anos. *Actas das 2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Instituto Hidrográfico, p. 175-178.

# A subida do NMM e a necessidade de revisão dos referenciais verticais

C. Antunes <sup>(1)</sup>

(1) IDL – Instituto Dom Luiz, FCUL – Universidade de Lisboa. cmantunes@fc.ul.pt.

**Resumo:** O Nível Médio do Mar (NMM) é um referencial geodésico usado como *datum* vertical, determinado a partir de uma superfície média do oceano. Na Geodesia, o *datum* vertical é rigorosamente definido por uma superfície equipotencial de referência – geóide, ajustada a uma dada superfície média do mar e fixada numa dada época; ao passo que na Hidrografia, normalmente, o *datum* vertical é definido localmente através de um plano de referência – o Zero Hidrográfico (ZH), posicionado a uma dada profundidade abaixo do NMM convencional. A variação do NMM pode implicar uma alteração dos sistemas geodésicos de referência associados e uma redefinição dos *data* verticais. Nesta comunicação discute-se as implicações da subida do NMM na revisão dos *data* verticais usados em Portugal, a consequente revisão dos valores das altitudes ortométricas de toda a cartografia nacional, a revisão da linha de costa, dos limites do domínio público hídrico, da batimetria e consequente navegabilidade das zonas portuárias e estuarinas.

**Palavras-chave:** subida do NMM, *datum* vertical, zero hidrográfico, EVRS2007, geóide.

## 1. INTRODUÇÃO

O nível da superfície média dos oceanos, designado habitualmente por Nível Médio do Mar (NMM) sofre variações periódicas significativas ao longo dos tempos. É uma oscilação regida pelas variações de longo período (ordem dos milhares de anos), correspondentes aos ciclos glaciares que alteram o volume de massa oceânica, com amplitudes na ordem dos 120 a 140 metros e períodos de 120 a 200 mil anos.

Estes ciclos não são regulares nem simétricos, eles têm uma duração mais prolongada no período glacial, correspondente ao arrefecimento da Terra e consequente descida do nível do mar devido à acumulação de massa de gelo nas zonas polares, e uma duração mais curta nos períodos inter-glaciares, correspondente ao aquecimento da Terra e consequente subida do nível do mar devido ao degelo das massas polares e consequente redistribuição na massa oceânica.

O último ciclo glacial iniciou-se há cerca de 120 mil anos, com o nível do mar ligeiramente acima do nível actual, e terminou há cerca de 20 mil anos, com o nível do mar a 130 metros abaixo do NMM actual. Há 20 mil anos atrás iniciou-se o actual período inter-glacial com uma consequente subida abrupta do nível do mar que terminou há 6-8 mil anos, estabilizando o NMM a 2-3 metros abaixo do nível actual. Desde então, o NMM tem vindo lentamente a subir a uma taxa média de 3-4 cm/século.

A superfície média dos oceanos em geral, e o NMM em particular, é naturalmente uma referência que desde as origens da Geodesia tem vindo a ser utilizado como referencial altimétrico. Qualquer variação significativa nesta superfície de referência implica uma actualização ou revisão dos referenciais verticais convencionados. Por outro lado, e embora

de forma mais conceptual e teórica mas com implicações práticas, a dinâmica do campo gravítico da Terra causada pelos efeitos temporais (lineares e periódicos) do fenómeno de maré terrestre implica a adopção de convenções específicas nos sistemas de referência vertical globais e regionais baseados em modelos geopotenciais (geóide) e em redes de nivelamento geodésico.

Nesta comunicação apresenta-se e discute-se o problema do território continental português, fazendo referência à provável adopção futura do sistema de referência vertical europeu EVRS2007 - *European Vertical Reference System 2007* (Ihde et al., 2008), por imposição da directiva INSPIRE.

## 2. SISTEMAS DE REFERÊNCIA E REFERENCIAIS VERTICAIS

Interessa considerar, neste contexto, o Datum Altimétrico de Cascais 1938 (NMM1938), os Zeros Hidrográficos (ZH) nacionais, o modelo de geóide adoptado no território continental (GEODPT08) e o sistema de referência europeu EVRS.

### 2.1. Datum Altimétrico de Cascais 1938

O sistema de altitudes ortométricas em Portugal continental (designadas de Helmert 1938) é realizado por nivelamento geodésico a partir de um referencial pontual materializado por uma marca de nivelamento rigorosamente cotada em relação ao NMM convencional. Este referencial foi definido a partir da média das observações do nível do mar registadas no antigo marégrafo de Cascais, entre 1882 a 1938, originando assim o NMM de Cascais de 1938, zero altimétrico de Portugal continental (NMM 1938). Esta marca de referência, que materializa o *datum* altimétrico nacional, está posicionada à altitude exacta de 4.308 m em relação ao NMM 1938.



O sistema nacional de referência vertical é então definido por um conjunto de altitudes ortométricas estendido a todo território nacional continental através da rede de linhas de nivelamento geométrico de alta precisão e da rede geodésica nacional. Outros sistemas verticais na Europa usam o sistema de altitudes normais (definido através do valor da gravidade normal -  $\gamma$ , em vez da gravidade terrestre -  $g$ ) ao contrário do sistema nacional, cuja altitude ortométrica corresponde à distância medida ao longo da vertical de lugar do ponto, entre a superfície do geóide e a superfície topográfica, e que resulta da seguinte definição

$$H = \frac{C}{\bar{g}} \cong \frac{C}{g + 0.0424H} \quad (1)$$

onde  $C$  é o número geopotencial e  $\bar{g}$  é o valor médio da aceleração da gravidade entre o ponto do terreno e a superfície do geóide, ao longo da vertical do lugar (Heiskanen e Moritz, 1967).

A diferença entre estes dois sistemas usados na Europa, de altitudes ortométricas e altitudes normais, é pouco significativa nas zonas de baixa altitude (sub-decimétrica), apresentando apenas diferenças significativas nas zonas montanhosas elevadas.

## 2.2. Zero Hidrográfico

Em 2008, a Organização Hidrográfica Internacional (IHO) estabeleceu uma resolução que visa a uniformização das definições de Zero Hidrográfico (ZH) por parte dos seus membros. Contudo, continua ainda a existir uma diversidade de definições. Em Portugal vigora ainda a definição que deu origem a todos os ZH: a mais baixa das Baixas-Mar (BM) registadas num período nodal (18.6 anos), acrescida de uma margem de segurança (comumente designada de “pé de piloto”). No território continental temos o valor do ZH de 2.00 m abaixo do NMM1938 para toda a costa portuguesa, com a

excepção da zona do estuário do Tejo, de 2.08 m abaixo do NMM1938. Nas regiões autónomas, porque a maré nos oceanos é de amplitude inferior à das zonas costeiras continentais, tem-se o ZH de 1.40 m na Madeira e de 1.00 m nos Açores. Estes valores diferem de região para região, porque dependem do regime de maré. O ZH é definido sempre em função da amplitude máxima em águas-

vivas (AV) equinociais.

O ZH é então o referencial vertical local usado em Hidrografia, quer para a definição da altura de maré (tabelas e modelos de maré), quer como referência da batimetria na cartografia náutica.

Ao longo da costa portuguesa o regime de maré é do tipo semi-diurno com uma amplitude máxima anual na ordem de 1.70 m, podendo atingir 1.80 m no caso de Viana do Castelo, de 1.85 em Cascais, e excepcionalmente, 2.10 m em Lisboa devido ao regime de maré estuarina (Antunes, 2007). Por aqui se pode compreender que para toda a zona costeira portuguesa o ZH de 2.00 m é, de acordo com a definição usada em Portugal pelo Instituto Hidrográfico (IH), e compatível com a resolução do IHO, uma referência adequada e justificada.

Já para o caso particular do estuário do Tejo, nomeadamente para Lisboa, há a considerar o efeito de propagação da onda de maré ao longo do estuário. A onda de maré que transporta uma dada quantidade de energia a uma determinada velocidade, ao entrar num estuário confinado por um determinado prisma de maré, perde velocidade e aumenta a sua amplitude devido ao princípio de conservação de energia (Fig.1). Além disso, verifica-se também uma ligeira elevação do nível médio anual de maré (NM Maré), sobre-elevando a onda de maré em relação ao NMM e ao ZH. Localmente, a altura de maré do NM Maré de um dado porto define a profundidade local do ZH, e este é por vezes definido como o ZH local, correspondendo à constante  $Z_0$ , ou harmónica de ordem zero, do modelo de harmónicas simples que define matematicamente a maré astronómica. No caso de Lisboa, este valor era originalmente 2.20 m, situando-se actualmente no valor de 2.34 m devido subida do NMM; ao passo que, em Cascais era originalmente de 2.08 m (o ZH oficial), e actualmente é de 2.25 m.

A Figura 1 mostra a actual sobre-elevação da maré devido à subida do NMM de 17 cm em relação à referência do NMM1938 (Antunes, 2007), posicionando os valores de altura de maré (BM, NMMaré e PM) acima dos valores convencionais definidos pelos antigos modelos de maré. Nomeadamente, os valores de resguardo de segurança de navegação, dado pelo mínimo de

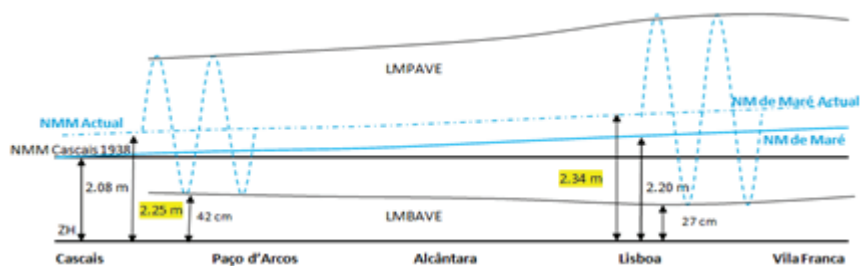


Fig. 1 - Geometria da maré no estuário do Tejo. Relação entre o NMM1938 e o ZH de Cascais-Lisboa. Diferença entre o NMM1938 e o NMM actual. Limite máximo de PM de AV equinociais – LMPAVE.

baixa-mar (BM) de AV equinociais, situam-se actualmente nos 42 cm em Cascais e 27 cm em Lisboa (baseado em Antunes, 2007, para o período de 2010-14).

### 2.3. Geóide

A definição rigorosa de um *datum* altimétrico global é dada pela superfície que define matematicamente a figura física da Terra, através do problema de fronteira da Geodesia Física, ou seja, pela superfície equipotencial de referência designado de “geóide”.

A superfície do geóide é uma superfície analítica que define a geometria do campo gravítico da Terra, ao nível do mar. Para ser estabelecida, fixada e usada como referência altimétrica esta superfície é definida, por convenção, através da fixação dos seguintes parâmetros: dimensão e forma do elipsóide de referência ( $a$ ,  $e^2$ ); velocidade angular da Terra ( $\omega$ );  $e$ , constante gravitacional da Terra ( $GM$ ). Depois de se determinarem e fixarem estes parâmetros, determina-se o valor constante do potencial gravítico  $W_0$  que define a superfície equipotencial de referência, o geóide.

O valor desta constante  $W_0$  está actualmente definida e é, por convenção, igual ao valor do potencial normal do elipsóide de referência,  $U_0$ , dado por  $W_0=U_0= 62636860.85 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$  (Moritz, 1979), definido matematicamente pela seguinte expressão analítica:

$$U_0 = \frac{GM}{\sqrt{a^2 - b^2}} \arctg\left(\frac{e}{\sqrt{1-e^2}}\right) + \frac{1}{2}\omega^2 a^2 \quad (2)$$

onde ( $GM$ ,  $a$ ,  $e^2$ ,  $\omega$ ) são os parâmetros definidos numericamente pelo GRS80 (*Geodetic Reference System* 1980), definido em Moritz (1979).

Existem modelos globais de geóide resultantes de modelos geopotenciais globais, como o EGM2008, que apresentam globalmente precisões até 10 cm. Para os países que têm o sistema de altitudes normais são usados modelos de quasi-geóide, correspondentes a superfícies não-equipotenciais, mas que satisfazem os requisitos de um sistema de referência vertical.

Em Portugal, existe o modelo gravimétrico de geóide, o GEODPT08 (Catalão e Sevilla, 2009). É um modelo numérico dado no formato de grelha e corresponde a uma solução de geóide fixada ao Datum Altimétrico de Cascais (NMM1938) e ajustado ao sistema de altitudes da rede de

nivelamento de alta precisão e da rede geodésica de primeira ordem. Este modelo, facultado publicamente pela DGT, é hoje comumente usado nas aplicações de GNNS diferencial em Topografia, Cartografia e Hidrografia, e como técnica de nivelamento geodésico proporciona uma exactidão superior a 4 cm (Catalão e Sevilla, 2009).

A Figura 2 mostra a relação altimétrica entre diferentes referenciais usados na Europa e a sua relação com o sistema EVRS.

### 2.4. European Vertical Reference System

O referencial *European Vertical Reference Frame* 2007 é a mais recente realização do sistema de referência vertical europeu (EVRS) e a continuação da solução da rede de nivelamento europeia, UELN95/98.

Os objectivos do EVRS são: a) definir um sistema de referência vertical europeu harmonizado e sem hiatos; b) elaborar recomendações à Comissão Europeia para uma futura adopção do EVRS a ser proposto na directiva INSPIRE; c) providenciar um sistema de altitudes actualizado e compatível com as convenções do EVRS.

As diferenças significativas entre a realização EVRF2007 e a realização anterior EVRF2000 são: o ponto origem, em vez de fixado na marca NAP em Amesterdão o EVRS2007 foi ajustado a 13 marcas de nivelamento distribuídas pelo continente europeu; e, em vez de ser um sistema de maré terrestre média (*mean-tide*) é um sistema de maré nula (*zero-tide*). Devido à diferença de fixação de origem, o EVRS2007 apresenta ligeiras diferenças em relação ao EVRS2000 nas altitudes dos *data* verticais dos países europeus. A Figura 2 apresenta as diferenças altimétricas do EVRS em relação a alguns *data* nacionais que integram a UELN.

O EVRS é um sistema de altitudes normais, associado ao modelo de quasi-geóide, o que pode implicar, caso venha ser adoptado, uma conversão dos sistemas de altitudes ortométricas usado por alguns países europeus para o sistema de altitudes normais, como é o caso de Portugal.

## 3. SUBIDA DO NMM E A REVISÃO DO DATUM ALTIMÉTRICO

A série temporal de médias mensais do marégrafo de Cascais indica uma subida do NMM de 12 cm até 2000 (Antunes e Taborda, 2009). Considerando a

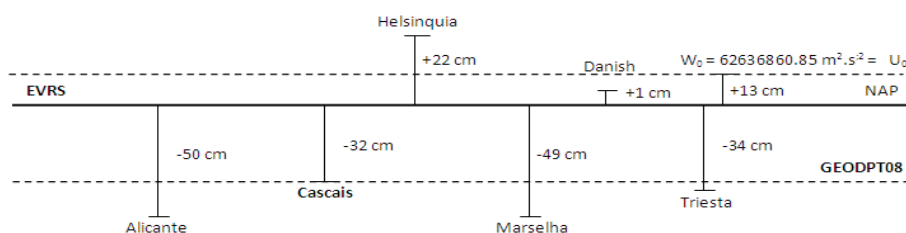


Fig. 2 - Relação entre o NMM1938 (GEODPT08), diferentes *data* altimétricos na Europa e o EVRS (adaptado de Idhe e Sánchez, 2005).

média dos últimos 10 anos, o NMM terá já atingido em 2013 os 17 cm acima do NMM1938.

De acordo com trabalhos anteriores (Antunes e Taborda, 2009) a taxa de subida do NMM nas últimas décadas do século passado foi de 2.1 mm/ano, sendo o valor actual de 4.1 mm/ano. Com estas taxas é estimada uma aceleração da subida do NMM de 0.073 m/ano<sup>2</sup>.

Admitindo valores de subida do NMM e respectiva aceleração desta ordem de grandeza, obtém-se uma projecção do NMM em Cascais para o final do século de cerca de 1.07 m acima do NMM1938, ou seja, 0.90 m acima do NMM actual. Admitindo o movimento vertical de sítio, dado por GPS (Antunes *et al.*, 2010), caracterizado por um movimento de soerguimento da ordem de 0.3 mm/ano, esta projecção revela-se compatível com as projecções mais recentes de publicações científicas e relatórios internacionais que apontam para uma subida do NMM de 1 m para o Séc. XXI (Rahmstorf, 2007).

### 3.1. Datum altimétrico e altitudes ortométricas

Admitindo que o NMM tenha já subido 17 cm em relação ao NMM1938 e que subirá ainda cerca de 0.9 a 1.0 m até 2100, o datum altimétrico deverá ser revisto e ajustado a um NMM mais actual. Tal implicará que todas as altitudes ortométricas do território nacional e informação geográfica associada terão de ser alteradas em função do novo datum altimétrico. Nesta situação é evidente a actualização da informação cartográfica, nomeadamente, os limites administrativos de domínio hídrico, quer na costa marítima, através da linha máxima de PM em AV equinociais – LMPAVE, quer nas zonas estuarinas de forte influência da maré oceânica.

A possível imposição de adopção do EVRS através da directiva INSPIRE irá também obrigar a adaptação e revisão do datum altimétrico e respectivas altitudes ortométricas usadas em Portugal continental.

Por um lado, a adopção do EVRS para Portugal continental implicará subir o datum vertical Cascais 1938 em 32 cm, e por outro, a contínua subida do NMM obriga à revisão do datum vertical. Duas razões que se tornam cada vez mais pertinentes.

### 3.2. Zero Hidrográfico, sondas e profundidades

Na Hidrografia e Cartografia Náutica são evidentes as necessidades de revisão do ZH, devido à contínua subida do NMM que tem implicações directas na navegabilidade e repercussões económicas nas administrações dos portos com forte actividade marítima, por via dos custos de dragagem de manutenção.

O aumento de coluna de água devido ao efeito da subida do NMM, colocando o ZH a 3.20 m abaixo do NMM em 2100, e a não actualização da cartografia, nomeadamente, na zona do estuário do

Tejo, irá restringir a zona de navegabilidade em benefício de uma maior e exagerada segurança de navegação, bem como, exigir dragagens muito abaixo da cota de equilíbrio de assoreamento.

A revisão do datum altimétrico de Cascais1938 torna-se assim uma oportunidade de revisão e actualização do ZH dos portos portugueses, tendo em consideração a subida do NMM e o consequente aumento da coluna de água. Esta oportunidade permitirá também a adopção da recomendação da OIH e a uniformização dos ZH.

## Agradecimentos

Fundação para a Ciência e Tecnologia, Financed by Project FCT: “Pest-Oe/CTE/LA0019/2013-2014”.

## REFERÊNCIAS

- Antunes, C. (2007). Previsão de Marés dos Portos Principais de Portugal URL: [http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/hidro\\_mares.html](http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/hidro_mares.html) (consultado em 2014.04.30).
- Antunes, C. and Taborda, R. (2009). Sea level at Cascais tide gauge: data, analysis and results. *Journal of Coastal Research, SI 56: Proceedings of the 10th International Coastal Symposium*, p. 218-222, Lisbon, Portugal, ISSN 0749-0258.
- Antunes, C., Taborda, R. and Mendes, V. (2010). Analysis of the most recent data of Cascais Tide gauge. *EGU General Assembly 2010*, held 2-7 May, 2010 in Vienna, Austria, p.1253.
- Catalão, J. and Sevilla, M.J. (2009). Vertical datum unification on Iberia and Macaronesian islands using multi-sensor gravity data and GRACE geopotential model. *Jornal of Geodynamics*, doi:10.1016/j.jog.2009.03.001.
- Heiskanen W.A. and Moritz, H. (1967). Physical Geodesy. *W.H. Freeman and Company*, San Francisco.
- Ihde, J. and Sánchez, L. (2005). A unified global height reference system as a basis for IGGOS. *J. of Geodynamics*, 40, p. 400-413.
- Ihde, J., M. Sacher, J. Mäkinen (2008). Conventions for the definition and realization of a European Vertical Reference System (EVRS) – EVRS Conventions 2007. IAG Sub-commission 1.3a EUREF.
- Moritz, H. (1979). Report of Special Study Group N° 539 of I.A.G., Fundamental Geodetic Constants, presented at *XVII General Assembly og I.U.G.G.*, Canberra.
- Rahmstorf, S. (2007). A semi-empirical approach to projecting future sea level rise. *Science*, p. 315-368.

# Ajustamento local do EGM2008

P. Nunes <sup>(1)</sup> e J. Vicente <sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico – Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa. antunes.nunes@hidrografico.pt.

**Resumo:** O posicionamento através das técnicas *Real Time Kinematic* (RTK) ou *Precise Point Positioning* (PPP) baseadas no *Global Navigation Satellite System* (GNSS) permitem obter a altitude elipsoidal da antena com uma precisão vertical compatível com os requisitos dos levantamentos hidrográficos e representam uma alternativa viável aos levantamentos com redução de maré. Em diversas situações o processo apresenta vantagens: diminuição da incerteza horizontal e vertical, uma melhor compensação dos movimentos dinâmicos da embarcação (variação dinâmica do caimento e do calado), uma economia do tempo no processamento dos dados e melhor compensação das acelerações induzidas pelas guinadas. As sondas determinadas através desta metodologia podem ser, *a posteriori* reduzidas ao Z.H., após redução ao geóide através de modelos de ondulação do geóide. Neste trabalho pretende-se aplicar uma técnica simples de ajustamento local do *Earth Gravitational Model* (EGM 2008) à zona do estuário do Tejo e mostrar os resultados obtidos.

**Palavras-chave:** Levantamentos Hidrográficos, GNSS-RTK, EGM2008, Geóide, Ajustamento.

## 1. INTRODUÇÃO

A geodesia física tem desenvolvido esforços no cálculo de modelos de ondulação do geóide de elevada precisão. A procura do modelo ideal tem beneficiado das várias missões espaciais lançadas com o objetivo de determinar a topografia da Terra e do seu campo gravítico (Seeber, 2003, pp. 469-484). As missões de medição do campo gravítico permitiram recolher dados de gravidade em toda a superfície terrestre. Os modelos do geóide são determinados com base na conjugação de dados recolhidos a bordo dos satélites, medições de gravimetria na superfície da Terra e modelos digitais de elevação com elevada resolução. Estes, constituem um referencial vertical com várias aplicações: geodesia, topografia, hidrografia, geologia, geofísica, oceanografia, etc...

A ondulação do geóide é a diferença vertical entre o elipsoide e o geóide, cujo valor permite reduzir as observações baseadas em tecnologias GNSS (*Global Navigation and Satellite System*) a um referencial vertical equipotencial ajustado ao nível médio do mar (Vanícek e Krakiwsky, 1986, p. 87).

O EGM2008 (*Earth Gravitational Model*) é um modelo global de harmónicas esféricas com determinação completa de coeficientes até ao grau e ordem 2159, tendo ainda coeficientes adicionais até ao grau 2190 e ordem 2159. O modelo é disponibilizado pela *National Geospatial – Intelligence Agency* (NGA) sob a forma de duas grelhas, com uma resolução 1'x1' e 2.5'x2.5' (NGA, 2008)

A estimação dos modelos do geóide é feita através de vários métodos: integral de Stokes, métodos astro-geodésicos, colocação por mínimos quadrados, harmónicas esféricas, entre outros (Vanícek e Krakiwsky, 1986, pp. 459-580). O ajustamento local de modelos globais ou regionais surge quando é

necessário planear e conduzir trabalhos hidrográficos onde não existem referenciais verticais, ou os mesmos tem uma cobertura reduzida. Estas situações podem ocorrer em situações de calamidade em que o tempo de resposta é fundamental e se pretende fazer um restabelecimento de condições de segurança para a utilização de um porto, ou em situação de apoio a forças militares navais em missões humanitárias a atuar em barras e portos desconhecidos onde não é possível ter acesso a informação das autoridades hidrográficas locais. O levantamento hidrográfico após o aluvião na Madeira em 2010 e a operação Crocodilo, de evacuação de cidadãos não combatentes na Guiné-Bissau em 1998 são dois exemplos. Nestas condições a equipa hidrográfica poderá ser empenhada na recolha de informação batimétrica e investigação do porto e estabelecimento das condições mínimas de segurança da navegação recorrendo a modelos globais do geóide ajustados localmente.

Este artigo pretende apresentar um método simples de ajustamento local de um modelo global EGM2008 para trabalhos de topografia e hidrografia. A metodologia foi aplicada no ajustamento do EGM2008 na área do porto de Lisboa utilizando cotas ortométricas de algumas marcas de nivelamento na área.

## 2. LEVANTAMENTOS GNSS-RTK/PPP

Os levantamentos hidrográficos e topográficos utilizando métodos de posicionamento GNSS, baseiam-se na determinação da posição da antena, em relação um referencial geodésico, no caso de Portugal Continental, o ETRS89.

A determinação de sondas reduzidas nos levantamentos hidrográficos pode seguir duas abordagens (fig.1). A primeira, consiste no posicionamento vertical da antena com elevada



precisão através de técnicas de GNSS. Conhecendo a posição relativa do transdutor no referencial da embarcação, e os valores de ondulação do geóide é possível reduzir o valor das sondas ao geóide. A segunda, baseia-se no conhecimento do valor da altura da maré no momento da medição da sonda pelo equipamento sondador. Conhecendo-se a imersão do transdutor é possível reduzir as sondas ao Zero Hidrográfico (ZH).

O RTK (*Real Time Kinematic*), técnica de posicionamento diferencial em tempo real, em que uma estação de referência determina e transmite correções de fase para o recetor instalado na embarcação (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger *et al.*, 2001, pp. 133-146). No PPP (*Precise Point Positioning*) o posicionamento é efetuado com um único recetor através de técnicas de pós-processamento das observações GNSS recorrendo a órbitas precisas e à modelação dos diferentes erros que influenciam o sinal GNSS (Marreiros, 2012). Esta abordagem pode ser aplicada para zonas costeiras e oceánicas.

Em (Nunes, Vicente *et al.*, 2013) os autores tiveram oportunidade de demonstrar a utilidade dos levantamentos GNSS-RTK no contexto da Hidrografia, pelo que o assunto não será aprofundado no âmbito deste artigo.

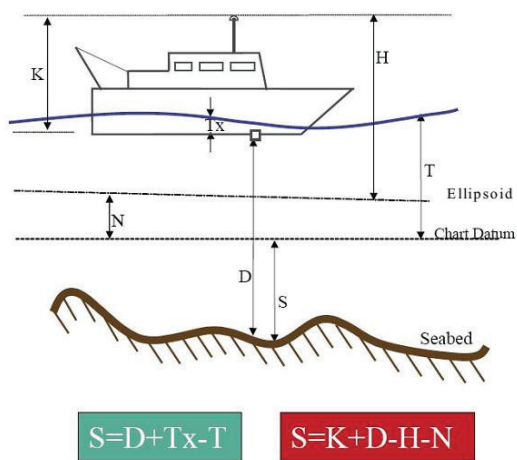


Figura 1 – Esquema genérico para determinação do valor da sonda pela redução da maré convencional e através da altitude GNSS – Imagem extraída de (FIG, 2006).

Um dos contextos em que o levantamento hidrográfico através de GNSS é particularmente útil é nos trabalhos destinados ao estudo da variabilidade do fundo do mar e controlo de volumes dragados. Nestes casos, o foco é na variação temporal em relação a um referencial, podendo ser utilizado o elipsoide diretamente. Todavia, nos trabalhos destinados à produção e atualização de cartografia náutica, é necessário referir as sondas ao datum cartográfico (ZH).

O processo de redução das sondas ao ZH é feita através da medição da maré em marégrafos dispostos na área de trabalho. Contudo, esta

metodologia é de natureza discreta. A estimação da maré em áreas extensas é difícil e influenciada por vários factores relacionados com o meio ambiental e com a configuração do fundo marinho.

Para extensas áreas de trabalho portuárias, a condução de levantamentos hidrográficos com GNSS, utilizando superfícies de referência vertical torna-se particularmente vantajoso, porque: permite de imediato referir as sondas ao elipsoide; utilizando um modelo do geóide e o valor de separação para o ZH, as sondas são de imediato reduzidas de maré; as variações do calado da embarcação (imersão do transdutor) devidas ao comportamento dinâmico da embarcação são compensadas.

Os modelos globais do geóide são estimados utilizando dados de diversas fontes: dados de gravidade recolhidos em satélites, aeronaves, levantamentos terrestres e marítimos, modelos digitais de terreno e observações GNSS de elevada precisão em marcas de nivelamento distribuídas globalmente. Com esta metodologia os autores do EGM2008 obtiveram uma precisão global de +/- 15 centímetros.

Em zonas com observações do campo gravítico de elevada qualidade foram determinadas diferenças entre o EGM2008 e a ondulação do geóide determinada por GNSS em marcas de nivelamento da ordem de +/- 5 a +/- 10 centímetros (Pavlis, 2012).

### 3. AJUSTAMENTO DO MODELO DE ONDULAÇÃO DO GEOIDE

O processo genérico de ajustamento local de um modelo de ondulação do geóide segue o fluxo apresentado de seguida (fig.2):

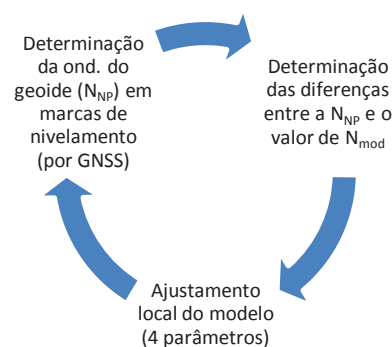


Figura 2 – Diagrama genérico do processo de ajustamento de um modelo de ondulação do geóide ( $N_{NP}$ -Valor da ondulação do geóide nas marcas de nivelamento,  $N_{mod}$ -Valor da ondulação do geóide no modelo)

O ajustamento local do modelo global segue um modelo matemático da transformação afim com 4 parâmetros presente na equação (1) (Forsberg, 1993).

$$N = N_0 + \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \lambda \\ \cos \varphi \sin \lambda \\ \sin \varphi \\ 1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Descrição das variáveis presentes nas equações (1) e (2):

$N$  : Valor da ondulação do geóide após o ajustamento;  $N_0$  : Valor do modelo ondulação do geóide antes do ajustamento;  $\varphi$  : Latitude elipsoidal;  $\lambda$  : Longitude elipsoidal;  $X_1$  : Translação em X;  $X_2$  : Translação em Y;  $X_3$  : Translação em Z;  $X_4$  : Fator de escala;  $N_{\text{mod}}$  : Valor do modelo de ondulação do geóide na marca de nivelamento;  $N_{\text{NP}}$  : Valor da ondulação do geóide determinada por GNSS na marca de nivelamento;  $A$  : Matriz de configuração;  $\hat{x}$  : vector de parâmetros ajustados ( , , e );  $v$  : componente residual das observações.

Os parâmetros da transformação são determinados por ajustamento pelo método de mínimos quadrados. A equação (2) apresenta a equação paramétrica do ajustamento.

$$A\hat{x} - [(N_{\text{mod}} - N_{\text{NP}}) + v] = 0 \quad (2)$$

No caso apresentado utilizou-se uma rotina Fortran que resolve o sistema e executa o ajustamento matemático do modelo global utilizando o valor da ondulação do geóide em onze marcas de nivelamento.

Após o ajustamento deve-se efetuar a determinação das diferenças entre os valores de ondulação conhecidos  $N_{\text{NP}}$  e  $N_{\text{mod}}$  ajustado. Através das diferenças encontradas é possível determinar a precisão do modelo ajustado.

#### 4. RESULTADOS DO AJUSTAMENTO DO EGM2008 PARA O PORTO DE LISBOA

O procedimento descrito no parágrafo anterior é genérico e passível de ser aplicado no processo de ajustamento de qualquer modelo de ondulação do geóide. O *International Geoid Service* (IGeS) disponibiliza um repositório<sup>1</sup> onde pode ser feito o *download* de modelos regionais e globais. Na mesma página, o IGeS disponibiliza as edições do *Newton's Bulletin* com estudos de incerteza dos modelos que podem auxiliar o hidrografo na escolha da melhor solução para a sua área do trabalho.

Como descrito no fluxo de trabalho do ajustamento a primeira fase do processo passa por determinar as diferenças entre a ondulação do geóide medida em marcas de nivelamento e os valores do modelo (fig.3).

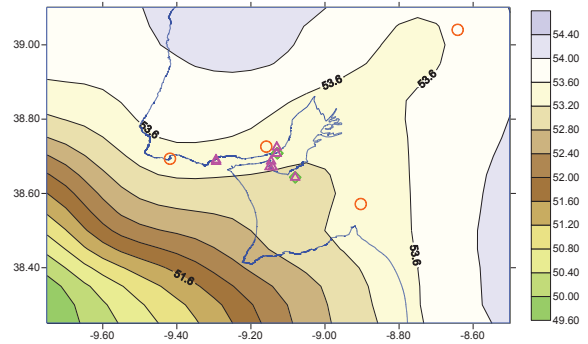


Figura 3 – Representação do modelo global EGM2008 na área do porto de Lisboa. (círculos laranja: estações RENEP, Triângulos rosa: marcas de nivelamento e losangos de cor verde: marcas de controle de qualidade)

Vamos utilizar o modelo local de ondulação do geóide GEODPT08 (Catalão e Sevilha, 2009) para comparação com o EGM2008 ajustado para o Porto de Lisboa (fig.4 e 5).

Tabela I – Resumo das diferenças entre a ondulação do geóide medida e os valores do modelo EGM2008 e GEODPT08 (16 marcas de nivelamento)

	Altitude Elipsoidal (m)	Altitude Ortométrica (m)	Ondulação Geóide (m)	Modelo EGM08	Modelo GEODPT 08
				$N_{\text{mod}} - N_{\text{NP}}$ (m)	$N_{\text{mod}} - N_{\text{NP}}$ (m)
Máximo	245.989	192.626	54.809	0.125	0.039
Mínimo	56.154	2.931	53.088	-0.085	-0.059
Média	84.668	31.376	53.293	-0.022	-0.018
Desvio Padrão	54.941	54.863	0.173	0.051	0.031

A tabela I apresenta a estatística das diferenças encontradas entre os dois modelos (EGM2008 e GEODPT08) nas marcas de nivelamento onde as altitudes elipsoidais foram determinadas por métodos GNSS.

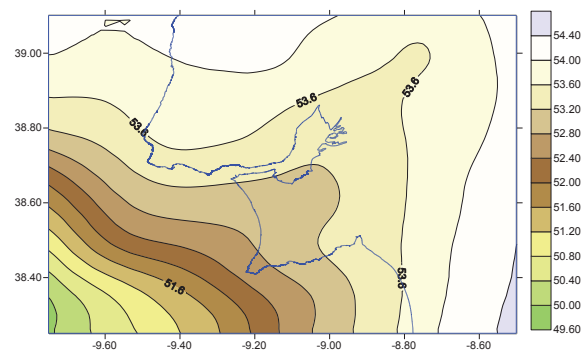


Figura 4 – Representação do modelo global EGM2008 após o ajustamento área do porto de Lisboa

<sup>1</sup> [http://www.iges.polimi.it/Geoid/geoid\\_rep.html](http://www.iges.polimi.it/Geoid/geoid_rep.html) (accedido em fevereiro de 2014).

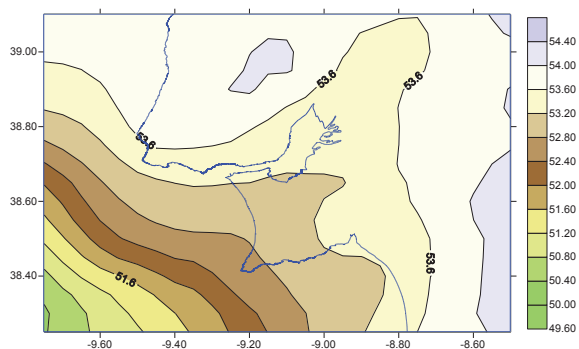


Figura 5 – Representação do modelo do geóide GEODPT08 na área do porto de Lisboa.

Tabela II – Resumo das diferenças entre a ondulação do geóide medida e os valores do modelo EGM2008 ajustado localmente

	Altitude Elipsoidal (m)	Altitude Ortométrica (m)	Ondulação do Geóide (m)	$N_{\text{mod-NP}}^{\text{EGM2008}}$ Ajustado (m)
Máximo	245.989	192.626	54.809	0.040
Mínimo	56.154	2.931	53.088	-0.046
Média	84.668	31.376	53.293	-0.006
Desvio Padrão	54.941	54.863	0.173	0.028

Através dos dados presentes na tabela II verifica-se que o modelo ajustado localmente com base nas marcas de nivelamento gerou diferenças inferiores a 4,6 cm.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no processo de ajustamento para o porto de Lisboa demonstram que é possível determinar parâmetros de ajustamento local do modelo global com resultados favoráveis.

Consideramos ficar demonstrada a utilidade do processo e a viabilidade do mesmo.

Neste trabalho não foi realizado o estudo da propagação da incerteza no posicionamento GNSS das marcas de nivelamento no processo de ajustamento, contudo, essa questão deverá ser sempre analisada com algum cuidado, tendo em conta que, os valores da ondulação do geóide nas marcas de nivelamento são determinados por métodos GNSS, onde, diferentes metodologias de processamento originam diferentes escalas de incerteza. Existindo redundância nas observações, devem ser adotados processos de controlo de qualidade, nomeadamente, através da determinação do erro médio quadrático em marcas de nivelamento de controlo que não sejam utilizadas no ajustamento.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao professor doutor Carlos Antunes, docente da cadeira de Geodesia I do mestrado de Engenharia Geográfica da Faculdade de Ciências, pelo apoio na elaboração do presente artigo e fornecimento da rotina Nadjust utilizada no processo de ajustamento.

## REFERÊNCIAS

- Catalão, J. and Sevilha, M. J. (2009). "Mapping the geoid for Iberia and the Macaronesian Islands using multi-sensor gravity data and the GRACE geopotential model." *Journal of Geodynamics* 48: 6-15.
- FIG (2006). Publication N° 37 - FIG Guide on the Development of a Vertical Reference Surface for Hydrography.
- Forsberg, R. (1993) "Modelling the fine-structure of the geoid: methods, data requirements and some results." *Reviews of Geophysics and Space Physics* 19, 403-418.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. et al. (2001). *GPS, Theory and Practice*. Wien, Springer-Verlag.
- Marreiros, J. P. R. (2012). *Kinematic GNSS Precise Point Positioning, Application to marine platforms*. Geosciences, Environment and Spatial Planning Department from Faculty of Sciences. Porto, Universidade do Porto. PhD.
- NGA (2008, 06 de maio de 2013). "Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)." No endereço: <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/> (Acedido em fevereiro de 2014).
- Nunes, P., Vicente, J., et al. (2013). Levantamentos hidrográficos com incerteza decimétrica? *8as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. LNEC.
- Pavlis, N., et al. (2012). "The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)." *Journal of Geophysical Research* 117.
- Seeber, G. (2003). *Satellite Geodesy*. Berlin, Walter de Gruyter.
- Vaníček, P. and Krakiwsky, E. J. (1986). *Geodesy: The Concepts*. Amsterdam, Elsevier Science.

# O IGeoE e a aquisição tridimensional da rede hidrográfica

L. Crispim<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Geográfico do Exército [lcispim@igeoe.pt](mailto:lcispim@igeoe.pt)

**Resumo:** O Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), enquanto Unidade do Exército, na dependência hierárquica e funcional do Comando da Logística, tem entre as suas competências prover com informação geográfica o Exército, os outros ramos das Forças Armadas e, se necessário, outras autoridades.

Atualmente a informação geográfica adquirida permite efetuar análises geo-espaciais nas 3 dimensões do espaço, podendo esta informação ser utilizada para os mais diversos fins. Encontra-se estruturada através de um catálogo de objetos definido pelo IGeoE, que no caso do tema “hidrografia” inclui, entre outros, os elementos Rio, Linhas de Águas, Albufeira, Lagoa e Valas.

Um trabalho metódico assente num processo de melhoria contínua, tem permitido desenvolver metodologias que levam a que o IGeoE disponha de uma informação hidrográfica que cobre todo o território nacional, representando-o de uma forma precisa e exata.

Se os utilizadores estiverem familiarizados com a estrutura dos dados e os conceitos que lhes estão subjacentes, as potencialidades de utilização desta informação são infindáveis.

**Palavras-chave:** IGeoE, informação geográfica, cartografia, hidrografia, tridimensional.

## 1. INTRODUÇÃO

O Instituto Geográfico do Exército é uma unidade militar integrada na estrutura e na cadeia de comando do Exército, na dependência hierárquica do Comandante da Logística. Tem competências técnicas e capacidades operacionais próprias, sendo parte integrante do Sistema de Forças Nacional e indispensável ao cumprimento das missões do Exército e das Forças Armadas.

Enquanto organismo das Forças Armadas, e conforme estipulado no Artigo 4.º do Decreto-Lei n.º 122/2011, de 29 de dezembro, que estabelece a lei orgânica do Ministério da Defesa Nacional, integra-se na administração direta do Estado.

Apesar de não ser Laboratório do Estado, o IGeoE tem um conjunto de competências e capacidades que lhe permitem assegurar tarefas de natureza não militar, em apoio ou dirigidas à sociedade civil em geral, com nítidas vantagens para o Estado. No entanto, importa salientar que o IGeoE existe primariamente para responder a necessidades de natureza militar e operacional do Exército.

Apesar de o IGeoE ter na sua designação o termo Instituto, não reúne os requisitos legalmente previstos para pode ser considerado como um Instituto Público, porque as suas receitas próprias não atingem um mínimo de dois terços das suas despesas totais, não possui autonomia administrativa e financeira, nem personalidade jurídica.

## 2. A CARTA MILITAR

A Carta Militar à escala 1 : 25 000 é não só o “cartão-de-visita” do IGeoE como também constitui a sua imagem de marca. No entanto, consciente das suas responsabilidades para com o Exército e o País,

sempre adequou o seu processo de produção e a sua informação às necessidades do utilizador, potenciando as capacidades das ferramentas disponíveis e mantendo um olhar único sobre todo o território ao longo dos tempos. Toda a informação geográfica é adquirida por processos estereofotogramétricos, utilizando imagens aéreas, com recurso à fotointerpretação dos seus operadores de fotogrametria e com grande preocupação quanto à qualidade temática e posicional da informação adquirida. A partir da introdução dos estereorrestituidores digitais na cadeia de produção, na década de 80 do século passado, toda a informação passou a ser adquirida a 3 dimensões com base em *software* CAD (*Computer Aided Design*), estando atualmente em fase de implementação uma Base de Dados Geográfica (BDG), cuja modelação (*Figura 1*) da estrutura de dados integra a geometria dos elementos (vetor), o Cadastro Militar (informação alfanumérica, de interesse militar, que caracteriza a informação da Carta Militar) e a Toponímia, numa única estrutura de dados, em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), que mantém a informação altimétrica na geometria de todos os elementos adquiridos (Dias *et al.*, 2011).

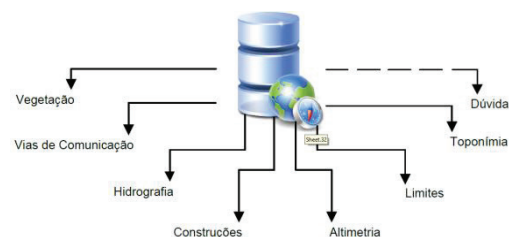


Figura 1 - Modelação da Base de Dados Geográfica

Esta BDG é constituída por 7 temas (Vegetação, Vias de Comunicação, Hidrografia, Construções,



Altimetria, Limites e Toponímia), que correspondem a superclasses. A diferenciação de toda a informação da Carta Militar é obtida por tipos, subtipos e atributos (Freitas, 2008). Assim, espera-se obter uma informação de base, não só para a produção da Carta Militar 1 : 25 000, mas também que potencie a sua análise em ambiente SIG, contribua de forma eficaz para a tomada de decisão dos Comandantes, Chefes e Gestores, bem como nos estudos e análises de todos aqueles que tenham a necessidade de a utilizar (Freitas e Catalão, 2009).

### 3. A REDE HIDROGRÁFICA

#### 3.1. Considerações iniciais

A definição mais comum de rede hidrográfica diz-nos que ela é composta por um rio principal e pelos seus tributários (afluentes e subafluentes). Os elementos que o IGeoE inclui no tema hidrografia transvasam um pouco este conceito, estando incluídos no tema hidrografia (*Figura 2*) todos os elementos que, de alguma forma, estão relacionados com o escoamento, a condução, a acumulação ou o armazenamento de água, no fundo relacionados com as necessidades logísticas de abastecimento de água durante uma operação e também por se poderem constituir como um obstáculo. Estes elementos são o rio, a albufeira, a lagoa, o pântano, a marinha, o terreno de cobre e descobre, as linhas de água (que inclui a de 1<sup>a</sup> ordem, de 2<sup>a</sup> ordem, de 3<sup>a</sup> ordem 50k, de 3<sup>a</sup> ordem 25k e auxiliar), a vala (que pode ser estreita ou larga), a linha de costa, a ilha e o mar.

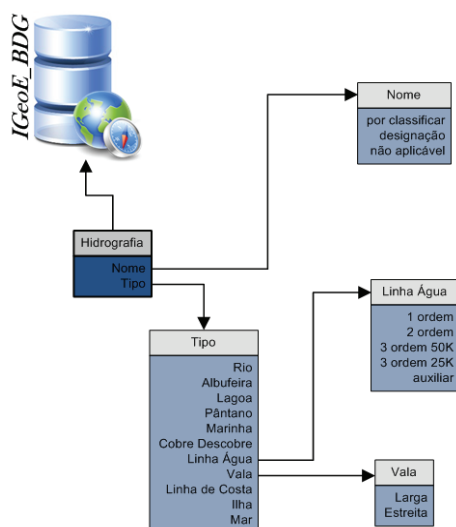


Figura 2 – Tema Hidrografia e seus atributos

Numa reflexão sobre esta modelação, podemos constatar que nem todos estes elementos estarão colocados no tema mais indicado, no entanto, esta é a estrutura que nos garante continuar a manter um olhar único sobre todo o território, espacial e temporalmente, ou seja, apesar da atual transição do CAD para os SIG, toda a informação de que o IGeoE dispõe e que cobre a totalidade do território nacional, independentemente do formato e da época

em que foi adquirida, mantém coerência e uniformidade na sua estrutura.

Para se compreender alguns dos conceitos associados aos elementos adquiridos pelo IGeoE, não podemos perder de vista o seu objetivo principal que é a produção da Carta Militar. Com isto pretendemos dizer que a definição ou a razão da aquisição de um determinado elemento está estritamente relacionada com a sua capacidade de condicionar uma operação militar, quer seja apenas pela forma como facilita a leitura da orografia do terreno ou como permite concluir sobre a sua implicação no movimento das forças (quer apeadas quer montadas), ou como permite a definição de sectores de tiro ou de observação, por exemplo.

#### 3.2. A sua aquisição estereofotogramétrica

Todos os elementos que são restituídos fazem parte de um documento técnico produzido pelo IGeoE e denominado “Guia de Extração” (IGeoE, 2013), o qual fornece orientações claras para a aquisição de todas as entidades da Base de Dados Geográfica do IGeoE. Assim consegue-se, com uma abordagem lógica, que os resultados obtidos sejam consistentes e homogêneos, independentemente do operador de fotogrametria que os adquiriu.

Todos os elementos são adquiridos em estereorrestituídos digitais, ou seja, equipamentos que possibilitam a partir de imagens aéreas digitais (ou digitalizadas) criar modelos estereoscópicos (a 3 dimensões) que permitem a aquisição da altitude ortométrica (cota) desses elementos. Esta é também a forma como são adquiridos os objetos do tema hidrografia (*Figura 3*).

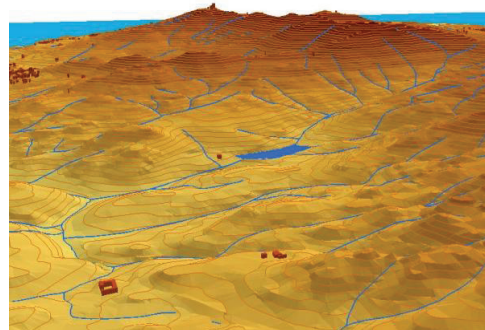


Figura 3 – Linhas de água com informação altimétrica

O elemento Rio é definido pelo IGeoE como um grande curso natural de água, geralmente de carácter permanente, que no seu trajeto recebe água de outros rios e linhas de água e que pode desaguar no mar, em outros cursos de água, numa albufeira ou num lago. A sua aquisição é feita pelas suas margens, à cota do terreno e de forma a que ambas as margens sejam adquiridas com a mesma cota.

No caso concreto das linhas de água, a definição adotada pelo IGeoE diz que uma linha de água é a linha de talvegue (linha de reunião das águas de dois flancos de um vale), por onde se dá o escoamento

natural da água das chuvas e em que a existência de água tem um carácter não permanente ao longo do ano. Na sua aquisição há um conjunto de condicionantes que se devem observar, de forma a se obter informação consistente. Para isso deve-se iniciar a restituição de uma linha de água no seu ponto mais elevado, a nascente da linha de água, e seguir o seu curso natural, acompanhando sempre a cota do terreno, até que esta desagüe noutra linha de água ou então num dos outros objetos em que é possível que isso aconteça, como é o caso do Mar, Rio, Albufeira, Lagoa, Pântanos, Dunas, Arrozaís, Marinhas ou terreno de Cobre e Descubre. Para se garantir a continuidade da rede hidrográfica, quando as linhas de água são adquiridas, não são interrompidas quando a sua invisibilidade é momentânea, designadamente quando atravessam outros objetos, como por exemplo estradas, aterros, desaterros, entre outros. No entanto, existem situações em que não se consegue inferir o seu traçado, sendo a sua representação efetuada através de uma Linha de Água Auxiliar. Este elemento, Linha de Água Auxiliar, é usado para identificar um troço da Linha de Água onde não se consegue definir com precisão uma parte do seu traçado, o que ocorre geralmente em zonas onde se verifica uma maior intervenção humana, quer devido à construção de aglomerados populacionais, quer devido a grandes movimentações de terra.

Outro elemento com grande relevância na Rede Hidrográfica são as Albufeiras, cuja definição adotada pelo IGeoE as considera como uma acumulação de água, de um ou mais rios ou de águas do mar, em bacia hidrográfica, com represa artificial, destinando-se à produção de energia elétrica, consumo ou irrigação. Este objeto é de grande importância militar porque se constitui como um obstáculo que condiciona a progressão de uma força, havendo que o considerar no planeamento de uma operação, quer seja defensiva ou ofensiva. A sua aquisição é feita pelo seu limite à cota do Nível de Pleno Armazenamento (NPA) ou se este não for disponibilizado pela entidade oficial, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) que integra o ex-INAG (Instituto da Água), então é adquirido pela cota do “ladrão” a qual, em ambiente estereoscópico, é normalmente perceptível. O “ladrão” é uma abertura para escoamento de superfície que normalmente se encontra num dos extremos do paredão, junto à margem da Albufeira. Dentro do limite da Albufeira não pode ser adquirido nenhum elemento de cota inferior ao NPA, com exceção das “Passagens a Vau”, as quais são um local, pouco profundo, num curso de água, Albufeira ou Lagoa, por onde, normalmente, se pode passar, dependente das condições de pluviosidade e do meio empregue (a pé, de automóvel ou de um veículo de todo o terreno ou de tração animal).

Na Base de Dados Geográfica do IGeoE, as Linhas de Água encontram-se classificadas em três ordens,

tendo a terceira ordem dois “tipos” de linha de água (Figura 4). Esta diferenciação baseia-se exclusivamente na extensão da linha de água e surgiu, desde praticamente as primeiras edições desta série cartográfica, como uma forma de tornar a carta militar à escala 1 : 25 000 mais atrativa e legível, bem como, no caso da diferenciação das de terceira ordem, facilitar a generalização da informação que seria posteriormente representável na série cartográfica à escala 1 : 50 000. Para ser feita esta classificação, começa-se pela identificação do troço mais longo de uma linha de água, ou seja, desde a sua origem até onde ela termina (que será no Mar, num Rio, numa Albufeira, numa Lagoa, em Pântanos, Dunas, Arrozaís, Marinhas ou terreno de Cobre e Descubre). De seguida, a partir da sua origem, os primeiros 500 metros são classificados como Linha de Água 3ª Ordem 25k; até aos 1000 metros é classificada como Linha de Água 3ª Ordem 50k; até aos 6 km como Linha de Água 2ª Ordem e a partir daí como Linha de Água 1ª Ordem. Este processo depois repete-se para as linhas de água suas tributárias e assim sucessivamente, até todas as linhas de água se encontrarem classificadas.

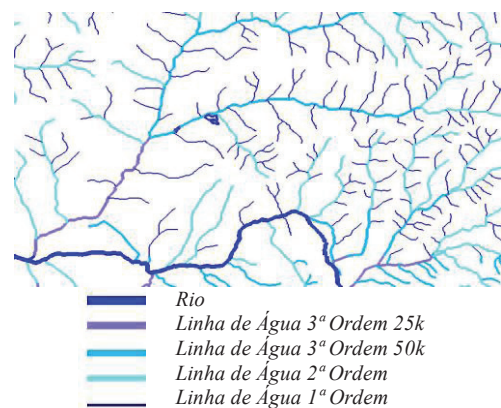


Figura 4 – Classificação das Linhas de água

Salientamos que, no caso particular das linhas de água, porque elas vão formar uma rede e para que essa rede possa ser analisada como tal, são adquiridas a partir da sua cota mais elevada e seguindo o sentido da escorrência das águas.

Os restantes elementos que fazem parte do tema Hidrografia têm regras de aquisição semelhantes, havendo sempre a preocupação de efetuar a sua restituição de forma a preservar não só a sua exatidão posicional e geométrica como também garantir a consistência topológica com todos os elementos representados. Um exemplo desta consistência é a intersecção de uma curva de nível por uma linha de água, intersecção esta que terá de coincidir com a inflexão da curva de nível.

### 3.3. Um exemplo da exatidão e potencialidades da informação geográfica tridimensional

As sociedades modernas promovem o seu desenvolvimento de uma forma sustentável, necessitando para esse efeito de informação de base

fidedigna que permita estudar e caracterizar a realidade existente e não apenas utilizar conceções ou modelos teóricos. No entanto, mesmo este desenvolvimento está sujeito a uma grande variedade de riscos que poderão colocar em causa esse equilíbrio, sendo também necessário dispor dessa informação de base para elaborar planos de emergência adequados e realistas. Um dos riscos a que o território nacional está sujeito, resulta de inundações provocadas por precipitação moderada mas de longa duração ou por precipitação de elevada intensidade e de curta/média duração, levando a que esse excesso de precipitação faça aumentar o caudal dos cursos de água, originando o extravase do leito normal e a inundação das margens e áreas circundantes.

Um exemplo demonstrativo da exatidão e do potencial da informação geográfica de base, a 3 dimensões, que o IGeoE produz, poderá ser ilustrado pelas cheias que ocorreram este inverno, nomeadamente na região de Reguengo do Alviela (Figura 5), quando se compara uma imagem real (Figura 6) publicada na internet a 28 de fevereiro de 2014, com a simulação (Figura 7) da mesma recorrendo à informação geográfica tridimensional que o IGeoE produz (Dias *et al.*, 2014).



Figura 5 – Imagem do Reguengo do Alviela (GoogleEarth)



Figura 6 – Fotografia do Reguengo do Alviela a 28fev2014

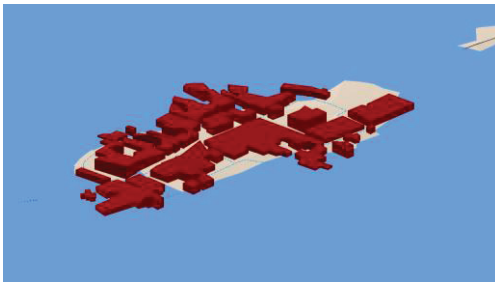


Figura 7 – Simulação com a informação geográfica tridimensional

Como se observa, o limite resultante da simulação com base na informação geográfica tridimensional adquirida pelo IGeoE, corresponde, com grande aproximação, ao limite real da área inundada.

#### 4. CONCLUSÃO

A informação hidrográfica adquirida pelo IGeoE tem, mesmo quando analisada só por si, sem ser enquadrada pelos outros temas, capacidades para ser objeto e/ou servir de base a variadíssimos estudos ou planos.

As características tridimensionais da informação e a sua exatidão posicional, aliadas ao facto de cobrir integralmente todo o território nacional, tornam-na ímpar, dando a garantia a quem a utiliza que não será atraído pela qualidade dos dados.

O Instituto Geográfico do Exército, ao produzir a Carta Militar de Portugal, a qual ainda é a cartografia de base do país, e ao disponibilizar informação geográfica tridimensional, de todo o território nacional, com grande exatidão e homogeneidade, serve não apenas o Exército e as Forças Armadas, mas também presta um serviço de incalculável valor a Portugal, dadas as inúmeras áreas em que esta é utilizada.

Compete a todos os utilizadores, militares ou civis, decisores, investigadores ou planeadores, utilizar e potenciar a informação geográfica produzida por este Instituto.

#### Agradecimentos

A todos os que trabalharam e trabalham no Instituto Geográfico do Exército e que com o seu esforço, sacrifício e dedicação fizeram jus à sua divisa: “Honra, Valor e Fama”.

#### REFERÊNCIAS

- Dias, R. , Marques, A. e Dias, J. (2011). Aquisição de Dados em SIG3D no IGeoE. *VII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*. Porto.
- Dias, R. , Franco, A., Marques, A. e Dias, J. (2014). SIG3D no Processo de Decisão. *Conferência Nacional de Geodesia*. Barreiro.
- Freitas, A. (2008). Modelação de uma base de dados geográfica para a série M888, 1 : 25 000 do IGeoE. *Dissertação de Mestrado*, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Freitas, A. e Catalão, J. (2009). Modelação de uma base de dados geográfica para a Série M888. *Actas da VI Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*, 65-72.
- IGeoE (2013). *Guia de Extração*. Lisboa.



## Posicionamento vertical nos levantamentos hidrográficos (RENEP – SERVIR – Modelos de Geoide)

J. Vicente <sup>(1)</sup>, A. Moura <sup>(1)</sup>, P. Sanches <sup>(1)</sup>, P. Nunes <sup>(1)</sup>, M. Miranda <sup>(1)</sup> e J. Cruz <sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico. delgado.vicente@hidrografico.pt

**Resumo:** Os levantamentos hidrográficos executados com posicionamento *Global Navigation Satellite System* (GNSS) *Real Time Kinematic* (RTK) apresentam vantagens significativas relativamente aos levantamentos processados com redução de maré a partir de observações pontuais em marcas de nivelamento. No posicionamento cinemático as variações instantâneas da altura de maré ou as variações de emersão do transdutor (devidas ao comportamento dinâmico da embarcação) são continuamente monitorizadas, permitindo uma diminuição considerável da incerteza na medição das profundidades.

Tendo por base as observações GNSS e os nivelamentos geométricos realizados pelo Instituto Hidrográfico em 2013 e 2014, pretende-se com a presente comunicação expressar as diferenças em termos de posicionamento vertical entre a utilização das redes RENEP e SERVIR, quantificar as diferenças entre altitudes ortométricas obtidas a partir de observações GNSS e por nivelamentos geométricos e, apresentar resultados da utilização dos modelos de separação: continente - GeoidPT08, ilha da Madeira - EGM2008 e modelos locais.

**Palavras-chave:** Levantamentos hidrográficos, Redes de posicionamento, Geoide, Nivelamentos geométricos

### 1. INTRODUÇÃO

Os levantamentos hidrográficos (LH) são projetos planeados e conduzidos de acordo com determinados critérios e normas técnicas da Organização Hidrográfica Internacional (OHI). Entre outras especificações, uma sonda reduzida deve ter uma incerteza inferior à máxima incerteza (horizontal e vertical) admissível para uma determinada ordem de levantamento (OHI, 2008).

Nunes *et al.* (2013) demonstraram ser possível a realização de LH com incerteza vertical quase decimétrica. Para tal, consideraram:

- A utilização de equipamentos calibrados com incertezas baixas e aferidas;
- Correta instalação dos sensores (medição das distâncias entre os diversos sensores que constituem o sistema sondador e dos desvios de orientação existentes entre os referenciais associados a cada sensor);
- Conhecimento da variabilidade espacial e temporal da velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água (*moving vessel profiler*);
- Utilização de um sistema de posicionamento *Global Navigation Satellite System* (GNSS) *Real Time Kinematic* (RTK).

O posicionamento GNSS RTK, com a integração de informação de atitude da embarcação com a informação de posicionamento, permite a realização de levantamentos referidos ao elipsoide/datum vertical. Neste posicionamento, quer as alterações dinâmicas sentidas pela embarcação quer a maré deixam de ser estimadas, passando a ser calculadas (Dodd *et al.*, 2010). Para tal, é necessário determinar: (A) a separação entre a antena e o transdutor (de fácil resolução utilizando técnicas topográficas para determinar a distância entre os dois sensores); (B) a altura da antena relativamente

ao elipsoide; (C) o modelo de separação entre o elipsoide e o datum vertical a usar.

No entanto, Nunes *et al.* (2013) para poderem afirmar que, atualmente, era possível realizar LH com incerteza quase decimétrica consideram, localmente (Doca de Paço de Arcos), uma incerteza de 3 cm (1 sigma) do conjunto modelo do geoide e referência vertical.

Poder-se-á assumir aquele valor de incerteza em qualquer local do território nacional? Quais as considerações a tomar para se poder assumir aquele valor de incerteza?

### 2. ESPECIFICAÇÕES DOS LH

A norma técnica sobre as especificações dos levantamentos hidrográficos (IH, 2012) estabelece um conjunto de procedimentos relativos ao posicionamento. Referem-se de seguida os respeitantes às questões referidas anteriormente.

#### 2.1. Referência horizontal

Em Portugal continental os produtos finais dos LH devem ser referenciados ao datum ETRS89. Na visualização e implantação de dados o sistema de projeção recomendado é o PT-TM06-ETRS89.

Nas regiões autónomas os produtos finais dos LH devem ser referenciados ao datum ITRF93. Na visualização e implantação de dados o sistema de projeção recomendado é o UTM-ITRF93.

DGT (2013a) disponibiliza informação detalhada sobre os *data* e sistemas de projeção mencionados.

#### 2.2. Referência vertical

Todas as sondas reduzidas ou profundidades determinadas devem estar referidas ao plano do Zero Hidrográfico (ZH). Este é o plano estabelecido



abaixo do Nível Médio adotado (NMA), com as diferenças que se indicam:

- Portugal continental, exceto Cascais e Lisboa: 2,00 m;
- Cascais e Lisboa: 2,08 m;
- Madeira; 1,40 m;
- Açores: 1,00 m.

Os dados provenientes de levantamentos topográficos (coordenação de pontos ou estruturas em terra) com interesse para a cartografia hidrográfica, ou das cotas provenientes de nivelamentos devem estar referidos ao NMA.

### 2.3. Modelo do geoide

O modelo do geoide adotado nos LH para Portugal continental é o GeodPT08 (DGT, 2013b). A utilização do GeodPT08 requer observações GNSS sobre MN locais que permitam aferir da adequabilidade da utilização do modelo tendo em consideração as máximas incertezas verticais admissíveis (em função da ordem do LH). As observações referidas devem ser efetuadas de modo a se poder estabelecer, quando necessário, um modelo local do geoide.

### 2.4. Ligação aos sistemas de referência

O posicionamento num LH deve apoiar-se em redes devidamente estabelecidas e referenciadas. São exemplos:

- Posicionamento horizontal:
  - o Rede Geodésica Nacional (RGN) (DGT, 2013c);
  - o Rede Nacional de Estações Permanentes (RENEP) (DGT, 2014);
  - o Rede SERVIR (IGeoE, 2014);
- Posicionamento vertical: Rede de Nivelamento Geométrico de Alta Precisão (RNGAP) (DGT, 2013d).

O posicionamento pode apoiar-se em pontos de apoio (rede local) coordenados e cotados para o efeito, a partir das redes nacionais através de observações GNSS.

As coordenadas das estações da RENEP, disponibilizadas pela Direção Geral do Território (DGT), estão no sistema ETRS89 referidas à época de observação 1995.4 (ETRF97). Por outro lado, as coordenadas das estações da rede SERVIR, disponibilizadas pelo Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), estão no sistema ITRF2005 (WGS84), razão pela qual se justifica a uma avaliação das diferenças de posicionamento de modo a avaliar o impacto nos requisitos dos levantamentos topo-hidrográficos.

Para o posicionamento vertical devem ser utilizadas, preferencialmente, Marcas de Nivelamento (MN), ou seja, pontos cotados por nivelamento geométrico (NG), preferencialmente, a partir da RNGAP. A utilização de posicionamento cinemático a partir das

redes RENEP e SERVIR pode ser efetuado, desde que, seja possível realizar as necessárias verificações em MN materializadas no local do levantamento.

De acordo com IH (2012) na coordenação de pontos de apoio, a incerteza horizontal e vertical deve ser menor que 10 cm (95% nível confiança).

## 3. METODOLOGIA

Desde 2013 que o Instituto Hidrográfico (IH) vem efetuando NG e observações GNSS com o objetivo de determinar as altitudes ortométricas das estações maregráficas no Terreiro do Trigo, Aveiro, Cantareira, Leixões, Troia, Sesimbra, Sines, Portimão, Cascais e na Ilha da Madeira (Funchal e Caniçal). Adicionalmente foram realizados trabalhos no Forte São Julião, na Direção de Faróis e em Troia.

Nos NG foi utilizado um nível digital da marca LEICA, modelo DNA03.

Na coordenação de marcas de nivelamento e de pontos de apoio utilizaram-se equipamentos GNSS TRIMBLE, modelos R7, 5800 e 5700. No processamento das observações GNSS foi utilizada a aplicação TRIMBLE BUSINESS CENTRE v.2.81.

Em Portugal continental, a determinação das altitudes ortométricas dos pontos estacionados foi efetuada com base no modelo local do geoide GeodPT08. Na Madeira, são apresentados resultados de altitudes ortométricas determinadas a partir da utilização do modelo do geoide EGM 2008 (NGA, 2013) e, ainda, com a utilização de um modelo local apresentado na secção 4.3.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Observações em Sines

Foram efetuadas observações GNSS nos pontos descritos na tabela I, e processadas com base nas coordenadas geodésicas (latitude e longitude) e altitudes elipsoidais das estações de referência.

Tabela I – Marcas observadas e tempos de observação (Sines)

ID do ponto	Área	Período de observação (hh:mm:ss)
IH BH 09/11	Porto Recreio	00:37:55
IH BH 35/13	Porto Recreio	06:02:30
IH BH 36/13	Terminal XXI	06:10:00
Prego igreja (NP210)	Sines	06:10:00
REF_TOPO_APS_SINES	Terminal XXI	08:13:25
TACO S/I	Terminal XXI	00:05:40

No processamento foram consideradas as seguintes opções:

- **A:** utilizando a estação de referência da RENEP de Santiago do Cacém (SCAC) e processamento das diversas linhas de base de modo independente;
- **B:** utilizando a estação de referência da RENEP SCAC e como metodologia de processamento o ajuste de rede simultâneo de todos os pontos;
- **C:** utilizando as estações de referência da RENEP de SCAC, Cascais (CASC) e Lisboa (IGP0) e

como metodologia de processamento o ajuste de rede simultâneo de todos os pontos;

- **D**: utilizando as estações de referência da SERVIR do Cercal (CERC) e da Arrábida (ARRA) e como metodologia de processamento o ajuste de rede simultâneo de todos os pontos;
- **E**: utilizando uma estação virtual da SERVIR (posicionada no terminal XXI) e como metodologia de processamento o ajuste de rede simultâneo de todos os pontos.

As tabelas II, III e IV apresentam as diferenças de coordenadas obtidas entre a opção C (PT-TM06-ETRS89) e as restantes opções.

Tabela II – Diferenças na coordenada M (m)

ID do ponto	C-A	C-B	C-D	C-E
IH BH 09/11	0,066	0,003	0,296	0,300
IH BH 35/13	0,002	0,004	0,294	0,298
IH BH 36/13	0,004	0,003	0,290	0,296
Prego Igreja (NP210)	0,006	0,007	0,295	0,301
REF_TOPO_APS_SINES	0,001	0,006	0,294	0,300
TACO S/I	0,001	0,003	---	0,300
Média das diferenças	0,011	0,004	0,294	0,299
Desvio padrão (1 sigma)	0,027	0,002	0,003	0,002

Tabela III – Diferenças na coordenada P (m)

ID do ponto	C-A	C-B	C-D	C-E
IH BH 09/11	-0,002	0,001	-0,392	-0,402
IH BH 35/13	0,000	0,001	-0,391	-0,405
IH BH 36/13	0,003	0,001	-0,391	-0,406
Prego Igreja (NP210)	-0,002	0,002	-0,394	-0,404
REF_TOPO_APS_SINES	-0,001	0,003	-0,392	-0,402
TACO S/I	0,000	0,001	---	-0,401
Média das diferenças	0,000	0,001	-0,392	-0,403
Desvio padrão (1 sigma)	0,002	0,001	0,001	0,002

Tabela IV – Diferenças na altura ortométrica (m)

ID do ponto	C-A	C-B	C-D	C-E
IH BH 09/11	-0,142	0,016	-0,008	0,031
IH BH 35/13	0,035	0,019	-0,017	0,034
IH BH 36/13	0,026	0,012	-0,011	0,044
Prego Igreja (NP210)	-0,010	0,023	-0,025	0,038
REF_TOPO_APS_SINES	0,077	0,068	0,019	0,027
TACO S/I	-0,035	0,015	---	---
Média das diferenças	-0,008	0,025	-0,015	0,035
Desvio padrão (1 sigma)	0,076	0,021	0,007	0,007

Note-se que se assumiu que as coordenadas obtidas a partir da rede SERVIR estão no mesmo referencial da rede RENE. A tabela V ilustra as diferenças entre as altitudes ortométricas obtidas por NG e as obtidas a partir das observações GNSS.

Tabela V – Diferenças entre altitudes ortométricas (m)

ID do ponto	A	B	C	D	E
IH BH 09/11	0,049	0,207	0,191	0,183	0,222
IH BH 35/13	0,222	0,206	0,187	0,170	0,221
IH BH 36/13	0,213	0,199	0,187	0,176	0,231
Prego Igreja (NP210)	0,163	0,196	0,177	0,148	0,211
TACO S/I	0,169	0,219	0,204	---	---
Média das diferenças	0,163	0,205	0,188	0,169	0,221
Desvio padrão (1 sigma)	0,069	0,009	0,011	0,015	0,008

Foi ainda efetuado um processamento adicional utilizando como referência uma estação do IH instalada sobre a MN IH BH 36/13 e forçando, desta vez, as altitudes ortométricas obtidas por NG na referência. A tabela VI ilustra os resultados obtidos.

Tabela VI – Diferenças de altitudes ortométricas com forçamento das coordenadas locais da estação de referência

ID do ponto	Diferenças de cota (GNSS – NG) (m)
IH BH 09/11	0,003
IH BH 35/13	-0,005
Prego Igreja (NP210)	-0,007

#### 4.2. Média das diferenças de altitudes ortométricas

Com base nas altitudes ortométricas obtidas por NG e nas altitudes elipsoidais obtidas em pós processamento, convertidas em altitudes ortométricas aplicando o GeoidPT08, foram encontradas as diferenças expressas na tabela VII. Neste caso, utilizaram-se apenas estações de referência da RENE e do IH (IHBH).

Tabela VII – Média das diferenças de altitudes ortométricas

Área	Marcas observadas	Estações de referência	Média da diferença de cotas (NG-GNSS) (m)
Lisboa – T. do Trigo	8	CASC, IGP0, IHBH	0,01
Oeiras – S. Julião	4	CASC, IGP0	0,00
Paço de Arcos (Doca)	2	CASC, IGP0	0,04
Paço de Arcos (MN003)	1	CASC, IGP0, IHBH	0,00
Montijo - Base Aérea	2	CASC, IGP0, IHBH	0,09
Seixal - Base Hidrog.	3	CASC, IGP0	0,05
Porto de Aveiro	5	AGUE, GAIA	-0,10
Porto – Cantareira	1	GAIA, IHBH	0,01
Porto – Cais de Banhos	1	GAIA, IHBH	0,07
Leixões	6	GAIA, IHBH	0,04
Setúbal - SECIL	1	CASC, IGP0, PALM, GRIB, SCAC, FVFI, IHBH	0,04
Porto de Sines	3	CASC, IGP0, SCAC	0,18
Portimão - Cais Marinha	1	BENA, LAGO, ODEM, TAVI	0,10
Cascais - Marina	5	CASC	-0,02

#### 4.3. Observações na Madeira

Com base nas altitudes ortométricas obtidas por NG e nas altitudes elipsoidais obtidas em pós processamento, convertidas em altitudes ortométricas aplicando o EGM2008, foram encontradas as diferenças expressas na tabela VIII.

Tabela VIII – Diferenças entre altitudes ortométricas (m)

Área	Marcas observadas	Estações de referência	Média da diferença de cotas (NG-GNSS) (m)
Funchal (EGM2008)	5	FUNC	-0,05
Canical (EGM2008)	2	FUNC	-0,15
Funchal (SEPModel-BH-MADEIRA-2013)	5	FUNC, IHBH	-0,01
Canical (SEPModel-BH-MADEIRA-2013)	2	FUNC, IHBH	-0,03

Em alternativa ao EGM2008, foi elaborado, localmente, um modelo de separação resultante da diferença entre informação hidrográfica reduzida de maré e as altitudes elipsoidais da mesma informação

adquirida em modo RTK. A este modelo foi dado o nome SEPModel-BH-MADEIRA-2013 (IH, 2014).

## 5. ANÁLISE DE RESULTADOS

As diferenças entre as altitudes ortométricas determinadas a partir de observações GNSS e as obtidas por NG são, em alguns casos, muito significativas (superiores a 5 cm). As diferenças encontradas entre as altitudes ortométricas obtidas pelas duas metodologias não podem ser justificadas sem estudos adicionais, uma vez que podem ser devidas a:

- Qualidade das observações;
- Qualidade da informação das coordenadas das estações de referência;
- Adequabilidade do modelo do geoide;
- Informação da rede de nivelamentos (existem trechos cuja informação é muito antiga).

Da análise efetuada considera-se que:

- A utilização de linhas de base única deve ser evitada (em regra, as observações são menos consistentes, realçando-se o elevado desvio padrão da média de diferenças obtida em Sines);
- Não sendo possível efetuar um ajuste de rede geometricamente adequado, os tempos de observação devem ser aumentados (no mínimo uma sessão de 24 horas ou duas sessões de 6 horas cada em dias diferentes (IH, 2012)).

O modelo SEPModel-BH-MADEIRA-2013 ajusta-se melhor que o modelo global EGM2008, se considerarmos apenas como área de trabalho os limites da área portuária. A utilização deste tipo de modelos permite o posicionamento cinemático com as vantagens referidas na introdução.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na comparação das diferenças de coordenadas obtidas em Sines entre as redes SERVIR E RENEP, pode-se concluir que ambas podem ser utilizadas em levantamentos hidrográficos de ordem 1 e 2. No entanto, em levantamentos de ordem especial ou na coordenação de pontos de apoio, dever-se-á utilizar informação obtida a partir da RENEP.

No posicionamento cinemático, dever-se-á realizar o forçamento da altitude ortométrica do ponto de apoio utilizando cotas obtidas por NG, ou, realizar observações GNSS na área de sondagem que permitam o estabelecimento de um modelo de separação local entre o geoide e o elipsoide, adequado aos requisitos do levantamento.

Para efetuar LH com incerteza quase decimétrica, a incerteza vertical admissível na coordenação de pontos de apoio deverá ser inferior a 5 cm.

### Agradecimentos

Os autores agradecem aos militares da Brigada Hidrográfica a dedicação na aquisição de dados,

nomeadamente, ao Sargento Hidrógrafo Jesus Zacarias pelo esforço adicional despendido nos diferentes tipos de processamento das observações.

## REFERÊNCIAS

- DGT (2013a). “Sistemas de referência”, Direção Geral do Território, última atualização em 18/06/2013. Disponível em: [http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/geodesia/sistemas\\_de\\_referencia/](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/sistemas_de_referencia/).
- DGT (2013b). “GeodPT08”, Direção Geral do Território, última atualização em 26/11/2013. Disponível em: [http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/geodesia/transformacao\\_de\\_coordenadas/modelo\\_de\\_geoide/](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/transformacao_de_coordenadas/modelo_de_geoide/).
- DGT (2013c). “Rede Geodésica Nacional”, Direção Geral do Território. Disponível em: [http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/geodesia/redes\\_geodesicas/rede\\_geodesica\\_nacional/](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/redes_geodesicas/rede_geodesica_nacional/).
- DGT (2013d). “Rede de Nivelamento Geométrico”, Direção Geral do Território, última atualização em 28/05/2013. Disponível em: [http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/geodesia/redes\\_geodesicas/rede\\_de\\_nivelamento\\_geometrico\\_de\\_alta\\_precisao/](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/redes_geodesicas/rede_de_nivelamento_geometrico_de_alta_precisao/).
- DGT (2014). “ReNEP”, Direção Geral do Território, última atualização em 06/05/2014. Disponível em: [http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/geodesia/redes\\_geodesicas/renep/](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/redes_geodesicas/renep/).
- Dodd, D., Mills, J., Battilana, D. e Gourley, M. (2010). “Hydrographic Surveying Using the Ellipsoid as the Vertical Reference Surface”, FIG Congress, Sydney, Australia, 2010.
- IGeoE (2014). “SERVIR”, Instituto Geográfico do Exército. Disponível em: <http://www.igeoe.pt/index.php?id=45/>.
- IH (2012). “NT-HI-01-v02, Especificações dos Levantamentos Hidrográficos”, Instituto Hidrográfico, (*em publicação*).
- IH (2014). “REL TF BH 01/13 - NG executados em Lisboa, Aveiro, Porto, Troia, Sesimbra e Madeira”, Instituto Hidrográfico. (*em publicação*).
- NGA (2013). “EGM2008 - WGS 84 Version”, National Geospatial-Intelligence Agency, última atualização em 29/04/2013. Disponível em: [http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08\\_wgs84.html](http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html).
- Nunes, P., Vicente, J., Lobo, A., Miranda, M., Monteiro, C. e Cruz, J. (2013). “Levantamentos hidrográficos com incerteza decimétrica?”, *8as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, Lisboa.
- OHI (2008). “S-44 IHO Standards for Hydrographic Surveys”, Organização Hidrográfica Int., 5<sup>a</sup> Ed.



## Benefícios da utilização do Sistema Sondador Multifeixe EM3002 Dual

M. Miranda <sup>(1)</sup>, J. Vicente <sup>(2)</sup>, C. Marques <sup>(2)</sup> e J. Cruz <sup>(2)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico. marina.miranda@hidrografico.pt

(2) Instituto Hidrográfico

**Resumo:** O Instituto Hidrográfico opera, desde 2007, o sistema multifeixe KONGSBERG EM3002 com duas configurações possíveis: *Single Head*, (aquisição de 254 profundidades numa faixa de 130° de largura, representando cerca de 3,5 vezes a profundidade); *Dual Head* (aquisição de 508 profundidades numa faixa de 200° de largura, representando cerca de 10 vezes a profundidade). A última configuração requer o conhecimento da velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água, como forma de minimizar as incertezas no posicionamento das profundidades. Com a aquisição em 2014 de um perfilador automático da velocidade de propagação do som (*Moving vessel profiler*), a utilização da configuração *Dual Head* passou a ser viável em levantamentos de ordem especial, com evidentes ganhos de rentabilidade.

A presente comunicação tem por objetivo dar a conhecer as vantagens e limitações da utilização do sondador EM3002D (*Dual Head*), assim como, os cuidados a ter na sua instalação.

**Palavras-chave:** Sistema Sondador Multifeixe, Levantamentos hidrográficos

### 1. INTRODUÇÃO

Os sondadores multifeixe (SMF) são o engenho preferencial dos hidrógrafos para uso na Hidrografia. Os SMF destacam-se pela capacidade de efetuar a busca total do fundo com elevada densidade de dados georreferenciados, permitindo a construção de modelos batimétricos de elevada resolução, que reproduzem de forma rigorosa o relevo submarino. Permitem, ainda, a aquisição de informação de refletividade, utilizada para caracterização do fundo marinho, nomeadamente para a identificação de diferentes tipos de sedimentos superficiais, e de informação de coluna de água (imagens 3D), empregue na deteção de objetos imersos, na determinação de volumetrias de cardumes ou, até mesmo, no estudo e deteção de fontes hidrotermais, colunas de gás, ondas internas e outros fenómenos oceanográficos.

### 2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

Em 1991, Pimentel (1991) publicava o primeiro artigo escrito em Portugal sobre a tecnologia multifeixe. No ano de 1995, o IH adquiria o primeiro sistema sondador multifeixe (SIMRAD EM950). Este sondador foi instalado na UAM «Coral» permitindo sondagens portuárias e costeiras desde os 3 aos 400m de profundidade. Depois de realizada a instalação, testes de funcionamento, provas de aceitação e de desempenho, em 1997 procederam-se aos primeiros levantamentos hidrográficos (LH), realizados com este sistema, nas barras dos portos de Lisboa e de Setúbal. A primeira carta náutica (CN) publicada com informação multifeixe ocorreu em 1998 (CN 26308 – Barra e porto de Setúbal – 2ª edição).

Na sequência da queda da ponte Hintze Ribeiro em Castelo de Paiva, em Março de 2001 e, face à inexistência em Portugal de um sondador de elevada exatidão e resolução que permitisse a deteção das viaturas sinistradas, foi necessário alugar um sistema daquele género. Optou-se pelo SMF SIMRAD EM3000, o qual foi fundamental na deteção das viaturas. Face aos resultados obtidos e por decisão governamental, foi adquirido para o IH um sistema de sondagem igual.

Em 2003, o fabricante SIMRAD juntou-se à empresa KONGSBERG, passando os SMF a adotar o nome do Grupo.

Entre 2004 e 2007, foi adquirida uma nova unidade de processamento KONGSBERG EM3002 e efetuado a atualização do sistema EM3000 para o EM3002, ficando o IH com capacidade de operar dois SMF de elevada resolução, um deles com capacidade *dual-head*. Neste período, no âmbito do estudo da proposta de extensão da plataforma continental, foram ainda adquiridos sistemas de média e grande profundidade para equiparem os navios hidrográficos:

- Um SMF KONGSBERG EM120 instalado no NRP D. Carlos I;
- Dois SMF (EM120 e EM 710) instalados no NRP Almirante Gago Coutinho.

O IH adquiriu, em 2013, um SMF KONGSBERG EM2040C. Este representa o estado da arte neste tipo de sistemas, apresentando aperfeiçoamentos ao nível da densidade da informação, da deteção de objetos e da redução do ruído relativamente aos sistemas anteriores, sendo especialmente dedicado para LH de elevada resolução em profundidades até aos 400 m.

Na tabela seguinte são apresentadas as principais características dos sistemas SMF que existem no IH.

Tabela I - Características dos sistemas SMF existentes no IH

	EM 120	EM 710	EM 3002	EM2040C
Sistemas sondadores (N.º)	2	1	2	1
Frequência (kHz)	12	70 - 100	Single head - 300 Dual head - 293 e 307	200 - 400
N.º de sondas por impulso transmitido	191	200 - 400	Single head - 254 Dual head - 508	400
Máxima taxa de transmissão (impulsos por segundo)	4	30	40	50
Largura dos feixes	2º x 2º	1º x 2º	1.5º x 1.5º	2º x 2º - 200kHz 1.3º x 1.3º - 300kHz 1º x 1º - 400kHz
Máxima faixa sondada	140º	150º	Single head - 130º Dual head - 210º	130º - 200 - 320kHz 100º - 350kHz 70º - 400kHz
Estabilização do feixe	Balanço, cabeceio e proa		Balanço e cabeceio	
Alcance (m)	50 - 11000	3 - 2000	1 - 120	1 - 500
Resolução em profundidade (cm)	10 - 40		1	

### 3. SMF EM3002D E METODOLOGIA

Em maio de 2013, o sistema SMF EM3002D (*dual head*) foi instalado na embarcação Fisália. Os dois transdutores foram colocados à proa, num suporte com um ângulo de instalação em *roll* de 40°. A restante instalação do sistema foi igual à do sistema EM3002.

Seguidamente, foram realizadas as provas de calibração e efetuadas fiadas de sondagem numa área próxima da Ribeira das Naus (Lisboa), sondada anteriormente com o SMF EM3002 (IH, 2013).

Esta comunicação tem por objetivo apresentar os resultados quando comparados os dados obtidos pelo sistema EM3002 (Kongsberg, 2006), nos modos *single head* e *dual head* e enunciar as vantagens e limitações da utilização daquele SMF no modo *dual head*.



Figura 1 – transdutores instalados na coluna da UAM Fisália.

#### 3.1. Provas de calibração

As calibrações do sistema EM3002D foram feitas pela mesma ordem de execução das fiadas de calibração do sistema EM3002, mas executadas de forma diferente e de acordo com Kongsberg (2013).

#### 3.2. A problemática dos referenciais

Uma das dificuldades que existe na operacionalização de um sistema SMF consiste na incerteza na determinação da localização de todos os sensores e dos desvios de orientação dos referenciais de cada sensor relativamente ao referencial da embarcação. Na realidade, as provas de calibração referidas anteriormente apenas minimizam erros de orientação dos sensores. Um sistema SMF possui quatro referenciais diferentes (embarcação, transdutor, sensor inercial para medição da atitude da embarcação e sensores *Global Navigation*

*Satellite System* (GNSS) para a determinação da proa da embarcação.

No sistema EM3002D existe um referencial adicional resultante da utilização de dois transdutores (figura 2), ambos com um ângulo de origem em balanço de 40° relativamente ao referencial da embarcação. Esta inclinação dos transdutores dificulta a medição dos braços dos transdutores e dos desvios de orientação relativamente ao referencial da embarcação.

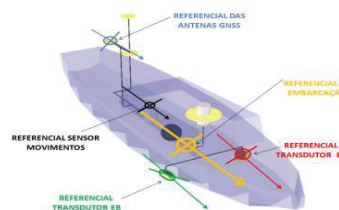


Figura 2 – Referenciais existentes no sistema EM3002D. Adaptação de Hughes Clarke, J. (2012).

#### 3.3 A problemática da utilização do EM3002D

Transversalmente à proa da embarcação, a maioria dos SMF têm uma faixa sondada utilizável nos LH de elevada precisão/baixa incerteza de cerca de 120 graus (60° para cada bordo). Acordo Artilheiro e Vicente (2011), a variação espacial e temporal do perfil da velocidade de propagação do som (VPS) apresenta um efeito dominante na incerteza vertical total para feixes com ângulos superiores a 60°.

De acordo com Artilheiro *et al.* (2005) o conhecimento do perfil da VPS é fundamental para que o sistema possa fazer o correto posicionamento das sondas. Para cada feixe formado na receção do eco, é necessário posicioná-lo no referencial da embarcação. Para tal é utilizado o tempo de trajeto e o ângulo de incidência do feixe formado, permitindo o traçado do raio sonoro e a solução de refração da VPS ao longo da coluna de água.

A não utilização sistemática de um sistema *dual-head* no IH prende-se com a impossibilidade, até 2013 inclusive, de conhecer em tempo útil e com elevada frequência o perfil da VPS ao longo da coluna de água. Até 2013, o IH apenas possuía perfiladores que requerem a paragem dos trabalhos de sondagem durante um período de tempo que é, em termos relativos, proporcional à profundidade média da área de sondagem (em profundidades de 30 m, esta operação pode demorar cerca de 15 a 20 minutos).

No final de 2013, o IH adquiriu um perfilador automático da VPS na água (designado MVP, abreviatura de *moving vessel profiler*), o UnderwaySV da OceanScience. Este equipamento vem permitir a obtenção de perfis de modo quase contínuo, sem paragem da embarcação. Desta forma, é possível reduzir significativamente o tempo gasto na aquisição destes dados, essenciais à execução de

LH com sistemas SMF, permitindo ainda diminuir o intervalo de tempo entre perfis consecutivos, traduzindo-se na melhoria da qualidade da informação batimétrica recolhida. Este sistema é essencial para a obtenção de profundidades com baixa incerteza em levantamentos de zonas estuarinas.

A figura 3 ilustra os perfis de VPS ao longo da coluna de água obtidos durante a realização das provas ao EM3002D.

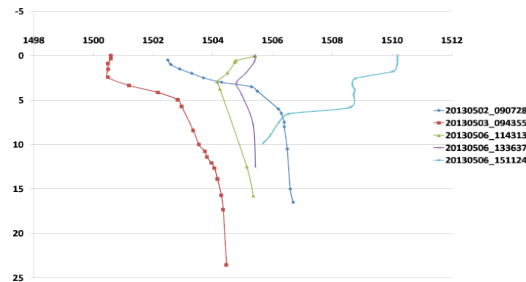


Figura 3 – Perfis de velocidade de propagação do som ao longo da coluna da água.

As figuras 4 e 5 demonstram os erros, devidos à utilização de um perfil da VPS ao longo da coluna de água não atualizado, no posicionamento horizontal e vertical das sondas. Nesta demonstração, utilizou-se o formulário de modelação do trajeto do impulso acústico, assumindo o fenómeno de refração da onda acústica esférica numa coluna de água estratificada em camadas com gradientes constantes da velocidade do som (Kinsler, 2000) e, igualmente, exposto em OHI (2005).

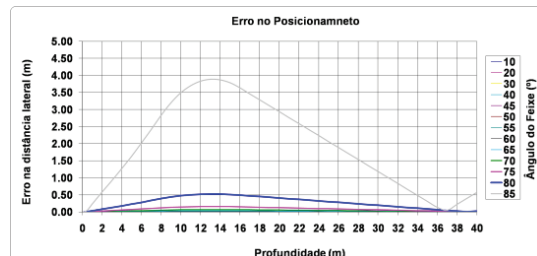


Figura 4 – Erro no posicionamento horizontal das sondas comparando os perfis 20130506\_114313 e 20130506\_133637.

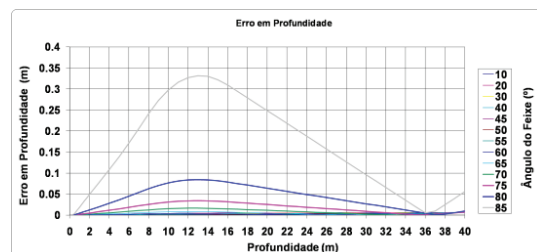


Figura 5 – Erro no posicionamento vertical das sondas comparando os perfis 20130506\_114313 e 20130506\_133637.

Apesar de se ter utilizado dois perfis quase idênticos, pela análise das figuras anteriores facilmente se conclui que quanto maior o ângulo de incidência maior o erro no posicionamento das sondas, podendo comprometer todo um trabalho de sondagem.

## 4. RESULTADOS

A figura 6 ilustra o modelo batimétrico (MB) obtido no LH realizado com o sistema EM3002 (modo *single head*). A partir das sondas adquiridas com o sistema SMF EM3002D foi gerado outro MB com a mesma resolução e parâmetros de modelação.

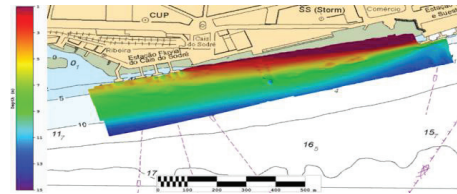


Figura 6 – MB com 0,5 m de resolução do LH da Ribeira das Naus executado com o sistema SMF EM3002 (*single head*).

### 4.1 Comparação dos modelos batimétricos

Foi criada uma superfície de diferenças entre os dois MB criados, ilustrada na figura 7. Da análise da superfície de diferenças conclui-se:

- Em fundos regulares a média de diferenças entre os dois MB é de 0,07 m (desvio padrão de 0,03 m), podendo estas diferenças ser justificadas pela utilização de leituras pontuais de maré no marégrafo do Terreiro do Trigo e pelas diferentes embarcações utilizadas;
- Em zonas com objetos de pequenas dimensões (figura 8) não existem diferenças significativas entre os MB.

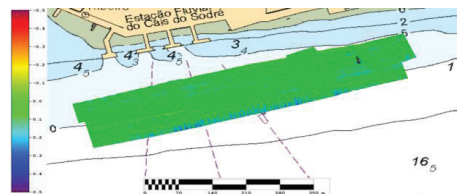


Figura 7 – Superfície de diferenças (SMF EM3002 - SMF EM3002D).

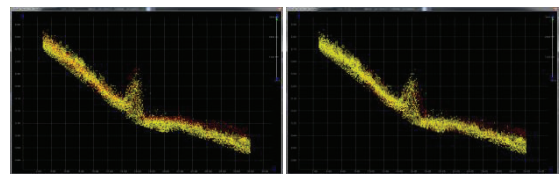


Figura 8 – Subconjunto de dados no local de um objeto com as sondas a amarelo do LH com SMF EM3002 e a vermelho do LH com SMF EM3002D. Na imagem da esquerda o objeto é detetado pelos feixes centrais e na imagem da direita pelos feixes exteriores de fiadas executadas com o EM3002D.

### 4.2 Comparação das sondas

Foi efetuada a comparação das sondas reduzidas adquiridas com o SMF EM3002D com o MB ilustrado na figura 6 (EM3002), verificando-se que 99% das comparações possuem uma diferença inferior à máxima incerteza vertical admissível para LH de ordem especial definida em OHI (2008).

A figura 9 ilustra as diferenças obtidas agrupadas por feixes. Realça-se as maiores diferenças obtidas nos feixes exteriores mais oblíquos relativamente à



vertical e nas transições da determinação da profundidade em amplitude para diferença de fase.

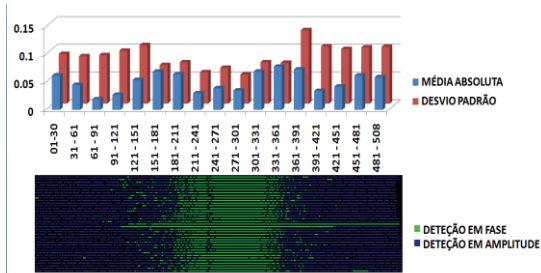


Figura 9 – Média e desvio padrão das diferenças agrupadas por feixes e tipo de deteção.

### 4.3 Rentabilidade da sondagem

Para esta análise definiu-se uma área de 5 000 por 500 m, com uma profundidade média de 10 m.

No sistema EM3002 foram utilizados os 60° disponíveis de abertura para cada bordo. No sistema EM3002D foram feitos cálculos para duas situações (ângulos referidos à vertical):

- No transdutor de BB foram utilizados 85° de abertura a BB e 20° a EB, no transdutor de EB 85° de abertura a EB e 20° a BB.
- No transdutor de BB foram utilizados 75° de abertura a BB e 20° a EB, no transdutor de EB 75° de abertura a EB e 20° a BB.

Note-se que no sistema EM3002D existe uma faixa de 40° de sobreposição (20° para cada bordo relativamente à vertical).

Os resultados obtidos encontram-se na tabela II.

Tabela II – Rentabilidade da sondagem.

		SMF EM3002 (60° abertura)	SMF EM3002D	
			75° abertura	85° abertura
50% de sobreposição entre faixas adjacentes	Espacamento entre fiadas	1,5 vezes profundidade	4 vezes profundidade	11,5 vezes profundidade
	Nº de fiadas	30	13	5
	Tempo de sondagem	13:54	06:02	02:19
10% de sobreposição entre faixas adjacentes	Espacamento entre fiadas	3 vezes profundidade	7,5 vezes profundidade	22 vezes profundidade
	Nº de fiadas	17	7	3
	Tempo de sondagem	07:53	03:15	01:24

### 4.4 Densidade de sondas

Durante a aquisição de dados com o EM3002D foi utilizada uma abertura nos feixes exteriores de 70°, com uma sobreposição entre faixas adjacentes de 50% (sobreposição entre faixas de diferentes fiadas), a uma velocidade média de 3,7 m/s. A figura 10 ilustra a densidade de sondas adquiridas.

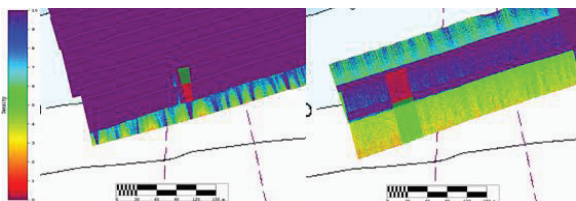


Figura 10 – Superfície de densidade de sondas (esquerda: SMF EM3002 / direita: SMF EM3002D). São ainda visíveis as fiadas de sondagem e um exemplo da largura da faixa sondada (área quase retangular vermelha e verde (bombordo e estibordo)).

Na aquisição de dados com o EM3002D verifica-se que só nas zonas em que existe sobreposição a densidade de sondas por nodo é superior a 5, valor mínimo para uma adequada modelação batimétrica (Vicente *et al.*, 2012).

## 5. CONCLUSÕES

Se for utilizado um MVP que permita um conhecimento mais preciso da VPS ao longo da coluna da água, torna-se muito mais rentável, em termos de tempo sondagem, a utilização do EM3002D. É mais rentável efetuar um LH com 50% de sobreposição entre faixas sondadas com o EM3002D do que realizar um LH com o EM3002 com 10% de sobreposição entre faixas sondadas. Nos LH com o EM3002D, para garantir que a densidade de sondas por nodo seja superior a 5 deve-se efetuar sempre 50% de sobreposição entre faixas adjacentes e, quando necessário, reduzir a velocidade de sondagem.

## REFERÊNCIAS

Artilheiro, F., Pimentel, F. e Vicente, J. (2005). Estimação dos erros dos sondadores multifeixe, *Anais do IH n.º 17*, Instituto Hidrográfico.

Artilheiro, F., Vicente, J. (2009). Requisitos para os Levantamentos Hidrográficos e Capacidades dos Sistemas Utilizados, *Cartografia e Geodesia 2009*, pp. 462-473.

Hughes Clarke, J. (2012). The Patch Test and Sensor to Ship Reference Frame Alignment, *62th Multibeam Sonar Training Course*, Lisboa. (Não publicado).

IH (2013). Levantamento Topo-hidrografico do Canal da CUF e do Terminal de sólidos do Barreiro, *REL.TF.01/13*, Instituto Hidrográfico.

Kinsler, L., Frey, A., Coppens, A. e Sanders, J. (2000). *Fundamentals of Acoustics*, 4ª ed, John Wiley & Sons, New York.

Kongsberg (2006). EM 3002 Multibeam echo sounder - Revision E, Kongsberg Maritime.

Kongsberg (2013). Seafloor Information System – Operator manual, Kongsberg Maritime.

OHI (2005). M-13 IHO Manual on Hydrography, 1ª Ed., Org. Hidrográfica Internacional.

OHI, (2008). S-44 IHO Standards for Hydrographic Surveys, 5ª Ed., Org. Hidrográfica Internacional.

Pimentel, F. (1991). Sistemas sondadores multifeixe. *Anais do IH n.º 12*, Instituto Hidrográfico.

Vicente, J., R. Silva, P. Sanches e M. Arenga (2012). Revisão das Especificações Técnicas para a execução de Levantamentos Hidrográficos, *2ªs Jornadas de Hidrografia*, Instituto Hidrográfico.

# Difusão pela comunidade marítima de informação vital para a navegação

A. Lopes<sup>(1)</sup>, A. Saramago Santos<sup>(1)</sup>, N. Rodrigues<sup>(1)</sup>, R. Baptista<sup>(1)</sup>, J. Luís<sup>(1)</sup> e L. Carneiro<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico ana.lopes@hidrografico.pt

**Resumo:** Uma sociedade da informação cada vez mais exigente obriga ao incremento da qualidade e eficácia dos processos inerentes à segurança da navegação. Este facto, aliado à exigência por parte da comunidade náutica em aceder à Informação de Segurança Marítima de forma imediata, cujo conteúdo seja claro, que facilite a sua interpretação e aplicabilidade, obriga ao desenvolvimento de formas e meios de difusão de informação vital. Tendo por objetivo corresponder às necessidades da comunidade marítima que se pretende envolta numa rede de informação de segurança, cuja redundância garanta a sua receção imediata, o Instituto Hidrográfico (IH) tem vindo a informatizar e agilizar os seus produtos. Estes produtos têm vindo a ser transformados em bases de dados. Desenvolveram-se aplicações para armazenar informação/dados e interagir com os interesses dos utilizadores. Pretende-se ampliar estas aplicações a toda a comunidade dando resposta às solicitações que chegam ao IH, através de uma especificidade: Cedência de dados.

**Palavras Chave:** Informação de Segurança Marítima; Lista de Luzes; Lista de Radioajudas e Serviços; Roteiros da Costa de Portugal.

## 1. INTRODUÇÃO

Com a criação da plataforma AnavNet, um serviço *Web-based* que disponibiliza ao público interessado, de uma forma rápida e eficaz, informação vital à navegação, facilitando aos utilizadores o conhecimento não só do ambiente marítimo envolvente, como também das alterações que constantemente ali ocorrem, deu-se início a um ambicioso projeto de apoio permanente aos navegantes, visando sobretudo o incremento da segurança da navegação em águas nacionais. Desde então, o IH tem direcionado esforços no sentido de melhorar os serviços disponibilizados aos navegantes, bem como, na criação de novas formas e métodos inovadores de difusão da informação vital que possa contribuir para a segurança destes. Tendo como lema, “tanto em terra, como no mar, a informação relativa à segurança da navegação é fácil de consultar”, a Divisão de Navegação (NV) em parceria com o Centro de Dados (CD) têm vindo a implementar bases de dados (BD) robustas e seguras, assim como aplicações informáticas das publicações náuticas (Lista de Luzes, Lista de Radioajudas e Serviços e Roteiros) com o objetivo de desenvolver novos serviços de apoio ao navegador que sejam de fácil e rápido acesso. Os serviços são disponibilizados através de um *Web-Service* ou através de um pedido de cedência de dados ao IH.

## 2. ENQUADRAMENTO

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do processo de “Inovação da Divisão de Navegação”, tendo como ideia embrionária a melhoria do apoio fornecido ao navegante através do incremento da

interatividade nos serviços prestados. A partir desta ideia deu-se início a um processo de análise à forma como as publicações náuticas da responsabilidade da NV estavam a ser divulgadas e acedidas pela comunidade náutica. A NV já possuía a BD para os Avisos aos Navegadores (AnavNet), com um *Web-Service* permanentemente disponível ao público, e a BD da Lista de Luzes. Esta última com a funcionalidade única de armazenar de forma cuidada e rigorosa os dados da publicação.

## 3. ATUALIDADE

### 3.1. AnavNet e BD Lista de Luzes

De forma a otimizar o processo existente na NV com os dados/informação das duas BD existentes, o IH desenvolveu uma nova aplicação visando a integração de ambas as BD e originando um novo produto. Para tal, tornou-se necessário modificar os modelos das BD AnavNet e Lista de Luzes.

O potencial deste novo produto consiste em permitir associar à próxima publicação da Lista de Luzes os avisos aos navegantes em vigor (Figura 1).

Portugal-Portugal Continental-Costa Oeste							
No.	NOME E LOCALIZAÇÃO	LAT. LONG. (M)	CARACTERÍSTICA (MORFOLOGIA)	ALTITUDE (m)	ALCANCES (M)	DESCRIÇÃO ALTURA (m)	OBSERVAÇÕES
69	Bôia M1	41-22.53W 009-44.60W	F1 Y 4s Hom 30s	.	6 0,0	Amarela	Li 0,75s; Es 3,25s Reflexor cúbico Peculiarmente emissão intermittente Som 2s; silêncio 28s
69,5	Monobóia	41-12.10W 009-45.07W	F(3) W 15s	.	6	Estrutura amarela	Li 0,5s; Es 0,5s Li 0,5s; Es 0,5s Li 1,5s; Es 11,5s Bóia para descarga de marisco branco
			Hom M(3) 30s				Som 0,75s; silêncio 1s Som 0,75s; silêncio 1s Som 2,5s; silêncio 24s AN (T)-111.02914 anavnet.hidrografico.pt

Figura 1 – Aspeto do relatório da Lista de Luzes com os Avisos aos navegantes em vigor, à data da emissão.

Pretende-se, com esta nova funcionalidade, ir ao encontro das exigências do navegante da atualidade,

possibilitando que este possua a publicação atualizada ao minuto com um simples pedido de cedência de dados.

Os dados/informação desta publicação têm diversos critérios de seleção para os pedidos de cedência de dados, que são: Área Geográfica; Polígono; Carta: Conteúdo ou Polígono; Lista de luzes; e, Lista de Luzes com os avisos associados (Figura 2).

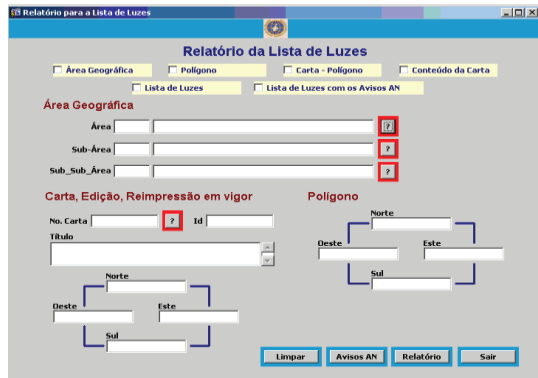


Figura 2 – Ecrã de apoio à pesquisa para a publicação da Lista de Luzes.

De acordo com o pedido efectuado pelo utilizador é produzido um *output* diferente. Este *output* é fornecido ao cliente através de um ficheiro \*.pdf.

Em simultâneo foi implementado um serviço de “Avisos de Atualização dos Documentos Náuticos”, tendo sido criada uma pequena BD para a gestão dos clientes que adiram a este serviço, seja através de inscrição na loja de venda ao público do IH, ou através do seu *site*. O objetivo desta BD consiste no armazenamento dos dados dos clientes que adquirem produtos náuticos e garantir que estes recebem toda a informação relacionada com as atualizações que os produtos venham a ter (Figura 3).

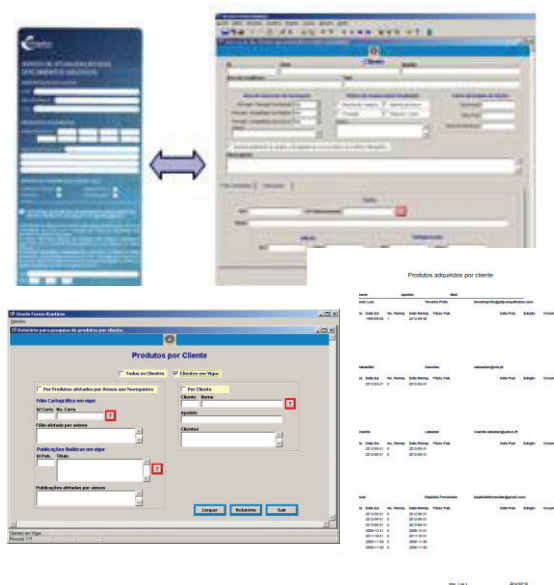


Figura 3 – Aspeto do panfleto do cliente, ecrã da BD de clientes e relatório.

O cliente é informado das atualizações dos produtos através do envio de um e-mail. Desta forma, existem diversos *Web-Services* onde ir buscar a informação necessária à atualização dos seus produtos.

Atualmente a publicação da Lista de Luzes pode ser adquirida através da Loja On-Line, da Loja do Navegante e por cedência de dados.

Para além das necessidades e cuidados que devem ser tidos em consideração quando se disponibilizam dados/informação ao público, foi igualmente tido em linha de conta um conjunto de operações que foram ao encontro das necessidades da própria divisão NV. Foram desenvolvidas funções de gestão entre:

- A Lista de Luzes em vigor e o Fólio Cartográfico em vigor;
- Os Avisos aos Navegantes com o Fólio Cartográfico e Publicações em vigor.

### 3.2. BD Lista Radioajudas e Serviços

Em paralelo a todos estes produtos, procedeu-se ao desenvolvimento de uma nova BD - BD da publicação da Lista de Radioajudas e Serviços (Figura 4). Sendo esta publicação, um manual e um conjunto de serviços, verificou-se a necessidade de selecionar e estruturar qual a informação a informatizar. Deste modo, esta BD apenas contém o capítulo 11 da publicação, correspondente a “Operações, Serviços Portuários e de Pilotagem”.

Foi desenvolvida uma aplicação para a introdução e visualização destes dados, e em simultâneo foi realizado um relatório para a produção em papel dos Serviços e de um ficheiro \*.pdf (Figura 5) de fácil acesso ao navegante através da página do IH ([www.hidrografico.pt/](http://www.hidrografico.pt/)).

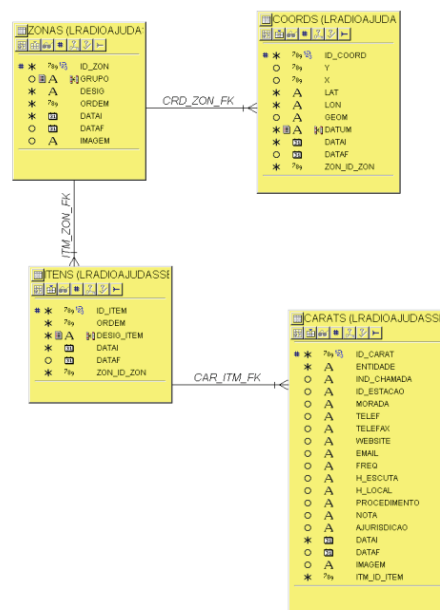


Figura 4 – Mancha do Esquema de Tabelas da BD de Serviços.

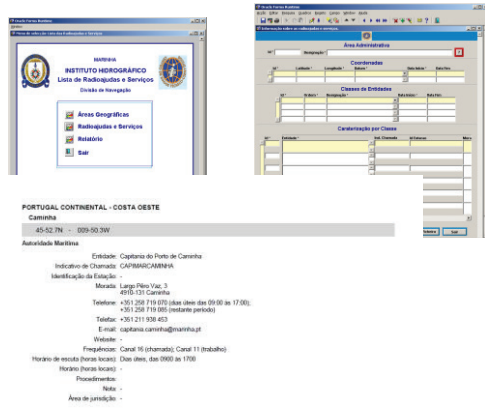


Figura 5 – Aspeto da aplicação para a introdução e visualização dos dados e relatório.

### 3.3. BD Roteiros

A NV é igualmente responsável pela publicação dos Roteiros da Costa de Portugal. Os roteiros estão divididos por vários volumes. Para Portugal Continental existem 4 volumes: Roteiro da Costa de Portugal – Portugal Continental – Do Rio Minho ao Cabo Carvoeiro; Do Cabo Carvoeiro ao Cabo de São Vicente; e Do Cabo de São Vicente à Foz do Rio Guadiana; e por último, um volume dedicado às Marinas e Portos de Recreio. Para os Arquipélagos existem 3 volumes que são: Roteiro da Costa de Portugal – Arquipélago dos Açores – Volume I e Volume II; Roteiro da Costa de Portugal – Arquipélago da Madeira.

Estas publicações não seguem uma metodologia de apresentação comum e pré-definida, visto serem executadas por diferentes pessoas, desfazadas no tempo. Assim sendo, foi desenhado um modelo (Figura 6) para que as próximas publicações tenham um formato uniforme. Esta uniformização levou-nos à criação de uma BD Roteiros.

Esta BD tem como finalidade guardar os respetivos volumes destas publicações, encontrando-se separados o texto das imagens, dos mapas e das tabelas.

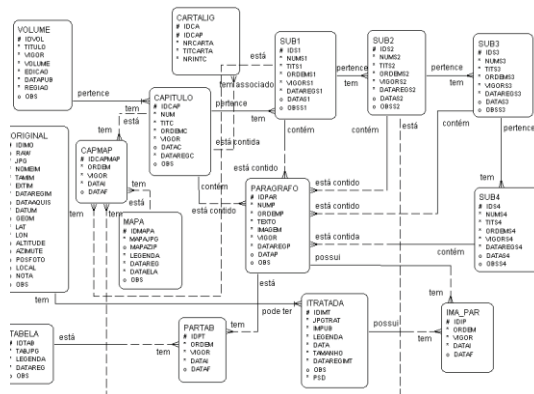


Figura 6 – Mancha do Modelo Conceptual da BD Roteiros.

A aplicação da BD Roteiros foi dividida em sub-aplicações. Cada sub-aplicação trata de um componente diferente, que são:

- O texto;
- As fotografias;
- Os mapas;
- As Tabelas.

A sub-aplicação para guardar e visualizar o texto é desenvolvida em *Forms e Reports Oracle*. Com esta aplicação pretende-se introduzir e visualizar a informação dos roteiros, encontrando-se dividida por volumes, capítulos e subcapítulos. Cada capítulo ou subcapítulo é composto por parágrafos, contendo ainda indicação da existência de imagens, mapas ou tabelas (Figura 7).

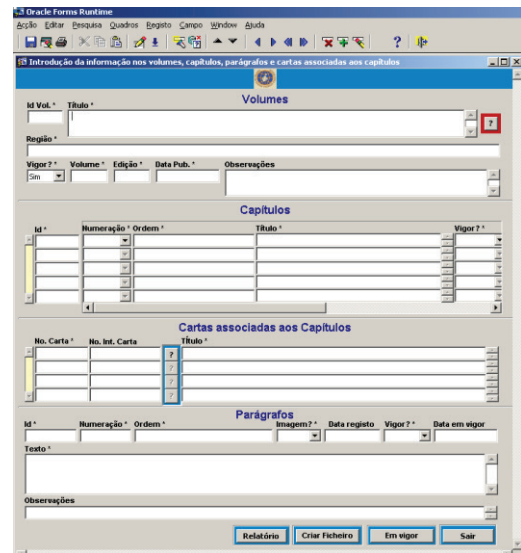


Figura 7 - Sub-aplicação do texto da BD Roteiros.

A sub-aplicação para o armazenamento das fotografias é executada em *Forms VB.Net*. Esta aplicação tem a capacidade de acesso a uma BD Oracle, para o carregamento de imagens, respetiva pesquisa, edição e visualização. Existe um ecrã de carregamento e preenchimento da informação básica da foto original e um segundo ecrã de pesquisa por características de uma foto selecionada, p.e. posição geográfica ou temporal, com visualização em mosaico das fotos vizinhas segundo esse mesmo critério (Figura 8).

As sub-aplicações para o arquivo dos mapas e das tabelas encontram-se em desenvolvimento. Contudo estas sub-aplicações serão desenvolvidas à imagem da sub-aplicação das fotografias.





Figura 8 – Aspeto da sub-aplicação da BD Roteiros Fotografias.

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho garante que os dados/informação referentes às Ajudas à Navegação estejam todos centralizados. Foram executados diversos *output* com a finalidade da NV deixar de ter aplicações ou ficheiros individuais, garantindo que a informação se encontra atualizada e de fácil acesso a todos os utilizadores.

Outra vantagem consiste na produção automática da Lista de Luzes em papel sempre atualizada. Esta BD encontra-se permanentemente com toda a informação vital inserida, visto ter associados os avisos aos navegantes referentes às Ajudas à Navegação. Atualmente esta publicação quando é publicada está atualizada relativamente ao último Grupo Mensal dos Avisos aos Navegantes. Existe igualmente a funcionalidade acrescida de possibilitar a cedência destes dados, quando o forem solicitados.

Em paralelo, também a produção em papel referente ao conteúdo “Operações, Serviços Portuários e de Pilotagem” da publicação Lista de Radioajudas e Serviços é automática. A área dos serviços desta publicação é disponibilizada gratuitamente à comunidade de navegadores através do portal do IH ([www.hidrografico.pt/](http://www.hidrografico.pt/)).

Com a BD dos Roteiros pretende-se uniformizar no futuro a metodologia de apresentação dos diferentes volumes dos Roteiros da Costa de Portugal.

Uma importante mais-valia para que a informação/dados das Ajudas à Navegação se encontrem em bases de dados resulta da possibilidade de estas poderem ser acedidas pelas outras divisões do IH, tendo-se a garantia que a informação está atualizada.

#### REFERÊNCIAS

Oracle.com.

Ajudas à Navegação – Lista de Luzes, Volume I – Portugal – 10<sup>a</sup> Edição, 2013, publicada pelo Instituto Hidrográfico – Divisão de Navegação.

Ajudas à Navegação – Lista de Radioajudas e Serviços, Volume I – Portugal – 6<sup>a</sup> Edição, 2013, publicada pelo Instituto Hidrográfico – Divisão de Navegação.

Avisos aos Navegantes – Grupo Mensal, publicada pelo Instituto Hidrográfico – Divisão de Navegação.

Roteiro da Costa de Portugal – Portugal Continental – Do Rio Minho ao Cabo Carvoeiro, 3<sup>a</sup> Edição, 2005, publicada pelo Instituto Hidrográfico – Divisão de Navegação.

Roteiro da Costa de Portugal – Portugal Continental – Do Cabo Carvoeiro ao Cabo de São Vicente, 3<sup>a</sup> Edição, 2006, publicada pelo Instituto Hidrográfico – Divisão de Navegação.

Roteiro da Costa de Portugal – Portugal Continental – Do Cabo de São Vicente ao Rio Guadiana, 3<sup>a</sup> Edição, 2008, publicada pelo Instituto Hidrográfico – Divisão de Navegação.

Roteiro da Costa de Portugal – Arquipélago dos Açores – Volume I – Grupos Oriental e Ocidental, 3<sup>a</sup> Edição, 2010, publicada pelo Instituto Hidrográfico – Divisão de Navegação.

Roteiro da Costa de Portugal – Arquipélago dos Açores – Volume II – Grupos Central, 3<sup>a</sup> Edição, 2010, publicada pelo Instituto Hidrográfico – Divisão de Navegação.

Roteiro da Costa de Portugal – Arquipélago da Madeira, 4<sup>a</sup> Edição, 2009, publicada pelo Instituto Hidrográfico – Divisão de Navegação.

Roteiro da Costa de Portugal – Portugal Continental – Marinas e Portos de Recreio, 3<sup>a</sup> Edição, 2005, publicada pelo Instituto Hidrográfico – Divisão de Navegação.

# Ensino da Hidrografia: o passado, o presente e uma visão do futuro

Z. Cardoso, P. Marreiros, V. Capelo, J. Rodrigues e A. Rodrigues

Instituto Hidrográfico. [zelia.cardoso@hidrografico.pt](mailto:zelia.cardoso@hidrografico.pt)

**Resumo:** Este artigo apresenta uma análise histórica, descreve a situação presente e aborda as perspectivas de evolução do Ensino da Hidrografia, no Instituto Hidrográfico. Trata-se também de uma versão atualizada relativamente a um artigo que foi publicado nas 2.<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica [Z.Cardoso et al., 2012].

**Palavras-chave:** Ensino, Formação e Hidrografia

## 1. INTRODUÇÃO

A Hidrografia é um ramo das ciências aplicadas que tem por objetivo principal cartografar o fundo do mar, medir as correntes, prever as marés e demais informação necessária para garantir a segurança da navegação. Os produtos da hidrografia abrangem uma vasta área de atividade que inclui praticamente todas as atividades relacionadas com o mar, designadamente: apoio à gestão portuária, obras marítimas, ordenamento do litoral, exploração de recursos energéticos e minerais, produção de energia a partir de fontes renováveis e estudos ambientais.

A Hidrografia começou a ser praticada, de uma forma metódica e organizada, na época dos Descobrimentos, pelos navegadores portugueses. A lendária Escola de Sagres representa um centro de conhecimento e de desenvolvimento das técnicas de navegação e da cartografia.

A importância do ensino da hidrografia para o nosso país é bem patente pela sua configuração geográfica, pela importância do mar para a economia, pelo valor geoestratégico e pela segurança nacional. Portugal é o País da Europa com a maior Zona Económica Exclusiva (ZEE) no Oceano Atlântico e tem uma área de soberania marítima, que corresponde aproximadamente a 18,7 vezes a área terrestre nacional.

A Escola de Hidrografia e Oceanografia (EHO) resulta de um passado acumulado de experiências e de conhecimentos adquiridos, em evolução permanente ao ritmo dos desenvolvimentos tecnológicos. Uma escola que constitui um exemplo da transmissão de conhecimentos através de muitas gerações de hidrógrafos, um saber acumulado que culmina numa oferta formativa de alto nível, que alia o saber teórico com o saber prático.

## 2. ENSINO DA HIDROGRAFIA – O PASSADO

Os navegadores das caravelas dos Descobrimentos não se lançaram ao Mar “às cegas”. Pelo contrário, os comandantes e os pilotos tinham conhecimentos

náuticos muito avançados para a época e elevado espírito prático na conceção, preparação e execução de todas as expedições portuguesas. Os êxitos alcançados em muito dependeram de uma inteligente orientação derivada da cooperação entre cientistas e navegadores, a que se deu o nome simbólico Escola de Sagres [Gago Coutinho, 1951 e 1952]

Nessa época, a Hidrografia e a Cartografia Náutica desenvolveram-se extraordinariamente em Portugal e rapidamente esses conhecimentos passaram fronteiras e foram utilizados por outras potências rivais em seu proveito e que começaram a suplantar o conhecimento náutico dos portugueses. Com o início do declínio como potência marítima, a partir do final do séc. XVI, Portugal perdeu o estatuto de referência mundial neste domínio.

Em 1834, após as invasões francesas, foi iniciada a reorganização dos Serviços Hidrográficos, com a criação da Secção de Hidrografia na antiga Comissão responsável pela Carta Geográfica do Reino, que esteve na génese do Instituto Geográfico Português. Assim, pode-se situar 1834 como sendo o início da moderna hidrografia portuguesa [Aguilar *et al.*, 2001]. Dois anos depois, em 1836, foi criado o curso de Eng.º Hidrógrafo, um dos primeiros cursos de Engenharia em Portugal. Em 1897 a disciplina de hidrografia começou a ser ministrada na Escola Naval e ainda hoje se mantém como uma unidade curricular obrigatória do Mestrado Integrado em Ciências Militares Navais.

### 2.1. Criação do Instituto Hidrográfico

O início do período atual da hidrografia portuguesa, começou em 1960, com a criação do Instituto Hidrográfico (IH), integrado na orgânica do Ministério da Marinha, em que foram centralizados os serviços e atividades nacionais relativas à hidrografia, oceanografia e navegação dispersos pelos Ministérios da Marinha e do Ultramar.

### 2.2. A Escola de Hidrografia e Oceanografia

Em 1970 - O IH, dadas as profundas necessidades de reorganização, no que se refere à investigação, foi



restruturado como fazendo parte da Direção Geral do Ministério da Marinha, dentro de um novo ramo, o da o Aquário Vasco da Gama. Nesta altura é criado o Centro de Instrução de Hidrografia e Oceanografia (CIHO), pelo Decreto-Lei n.º 26/70, de 15 de janeiro, o qual promulgou a reestruturação e a Portaria n.º 399/70, de 14 de agosto, aprovou o 1.º Regulamento Interno do IH.

Em 1979 – O CIHO, passou a ter a designação atual de Escola de Hidrografia e Oceanografia, conforme consta no 2.º Regulamento Interno do IH, publicado em anexo à Portaria n.º 264/79, de 6 de junho, que o aprovou e pôs em execução, a título experimental, nos termos do n.º 1 do artigo 1.º do Decreto-Lei n.º 298/76, de 26 de abril;

Seguem-se algumas datas relevantes relacionadas com a formação ministrada na EHO, complementadas pela tabela apresentada em anexo A:

- ✓ **1978** – Primeiro Curso Médio de Hidrografia e Navegação (CMHN), aprovado por despacho de 15 de maio de 1978, do Almirante Chefe do Estado-Maior da Armada, destinado à formação de oficiais do Serviço Especial.
- ✓ **1982-1983** - Primeiro Curso de Especialização de Oficiais em Hidrografia, destinado a oficiais oriundos da Escola Naval.
- ✓ **1983-1984** – O CMHN é substituído pelo Curso Médio de Hidrografia e Oceanografia (CMHO), acreditado com a categoria “B” pela FIG/OHI. A última edição teve lugar no ano letivo de 1997-98;
- ✓ **1986 e 1987** - O Curso de Técnicos Auxiliares de Oceanografia, que teve apenas duas edições;
- ✓ **1987** - O Curso de Técnicos Auxiliares de Hidrografia, teve apenas uma edição;
- ✓ **2001-2002** - O Curso de Especialização em Hidrografia para Sargentos e Praças (CEHSP) teve uma única edição;
- ✓ **2005** - O CEHSP foi substituído pelo Curso de Especialização em Hidrografia para Sargentos.

### 3. ENSINO DA HIDROGRAFIA – O PRESENTE

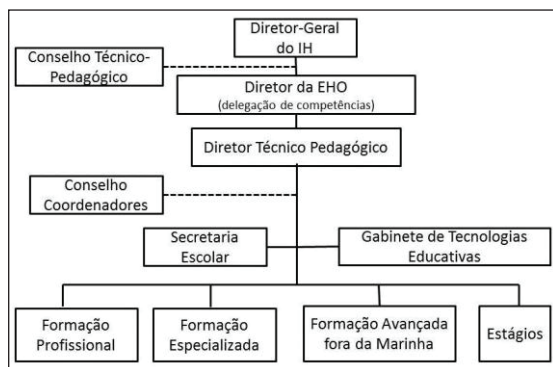


Figura 1: Organograma da EHO.

investigação do mar, onde a par se integravam o Instituto de Biologia Marítima (este apenas até 1974) e Atualmente, a EHO mantém-se inserida na estrutura interna do IH e faz parte do Sistema de Formação Profissional da Marinha. A par da formação especializada em hidrografia e oceanografia, dispõe de novas competências no âmbito da formação avançada, formação profissional e acompanhamento de estágios. Assim, a oferta formativa da EHO aumentou substancialmente.

Mantem-se a formação especializada com dois cursos de referência:

- ✓ Curso de especialização em hidrografia (CEH);
- ✓ Curso técnico de hidrografia (CTH).

Estes cursos são acreditados pela FIG-IHO-ICA (Federação Internacional de Geómetras, Organização Hidrográfica Internacional e Associação Cartográfica Internacional), no âmbito do *International Board on Standards of Competence for Hydrographic Surveyors and Nautical Cartographers* (IBSC). O CEH corresponde à categoria A, tendo renovado a acreditação em 2011. O CTH corresponde à categoria B, tendo renovado a acreditação em 2012.

Segue-se a explicação das categorias [OHI, 2011]:

- ✓ Categoria A, para quem já possui uma licenciatura nas áreas de Matemática, Física ou Engenharia. Habilita com as competências para a resolução de problemas técnicos avançados e um âmbito de conhecimento abrangente;
- ✓ Categoria B, para quem já possui o 12.º ano de escolaridade, com Matemática e Física de caráter obrigatório. Habilita com as competências para as tarefas rotineiras e de chefia de equipas de trabalho de campo.

Apresenta-se, de forma resumida, as componentes dos cursos de especialização:

Tabela 1 – Estrutura curricular dos cursos de hidrografia

Componente teórica	
Áreas temáticas	
Matemática e Estatística	
Informática	
Física e Eletrónica	
Geodesia	
Hidrografia	
Cartografia	
Oceanografia	
Tecnologias Complementares	
Direitos do Mar	
Ciências Náuticas	
Componente prática	
Projeto Levantamento Hidrográfico	
Projeto de Processamento de Dados Hidrográficos	
Projeto de Cartografia Náutica	
Estágio de Embarque em Navio Hidrográfico	
Estágio na Brigada Hidrográfica	

Estes cursos habilitam a enfrentar desafios e oportunidades no domínio das ciências do mar, designadamente:

- ✓ Planear levantamentos hidrográficos;
- ✓ Coordenar equipas de sondagem na execução dos levantamentos hidrográficos;
- ✓ Efetuar todas as operações de processamento dos dados obtidos nos levantamentos hidrográficos, incluindo a produção de implantações gráficas;
- ✓ Efetuar operações de topografia, em complemento aos levantamentos hidrográficos;
- ✓ Cooperar com outras equipas na execução de trabalhos de campos para a recolha de dados, os quais são posteriormente processados (fundamentos/recolha de amarrações e boias, trabalhos oceanográficos e levantamentos geofísicos), a bordo de navios hidrográficos ou em pequenas embarcações.

Em acréscimo aos cursos tradicionais, também podem ser frequentados módulos para quem necessita de formação apenas numa área temática específica e cursos de curta duração para a navegação de recreio. São também proporcionados estágios curriculares ou de formação especializada.

Tabela II – Cursos e estágios disponibilizados pela EHO.

Formação
<b>Cursos de Especialização:</b> - Curso de Especialização em Hidrografia - Curso Técnico de Hidrografia
<b>Formação Modular:</b> - Hidrografia - Oceanografia - Levantamentos Hidrográficos - Cartografia Náutica - Ciências Náuticas
<b>Estágios:</b> - Estágios Curriculares - Estágio Formação Especializada
<b>Cursos de curta duração:</b> - Curso Navegação de Recreio

#### 4. ENSINO DA HIDROGRAFIA – O FUTURO

O CEH encontra-se num processo de evolução para um curso de Mestrado, em conjunto com a Escola Naval, cuja primeira edição está prevista para 2015-2016, depois de cumpridos os requisitos inerentes ao reconhecimento de um curso de nível superior. O novo Mestrado em Hidrografia manterá a acreditação internacional como categoria A, a par de um reforço da componente académica e de investigação, com a apresentação de uma tese, no final.

No contexto do ensino técnico, está em preparação um Curso Técnico de Oceanografia que visa habilitar pessoal para operar e adquirir dados oceanográficos no

mar. Este curso está a ser organizado em conjunto com estabelecimentos de ensino superior portugueses, com departamentos orientados para as Ciências do Mar e pretende dar resposta a uma lacuna da formação a nível nacional.

Também está prevista a criação de mais cursos de curta duração (duas semanas a dois meses), designadamente na área dos sistemas sondadores multifeixe, ROV e equipamentos de geofísica marinha.

O desafio do futuro da formação em Hidrografia, passará pela contínua adaptação às inovações tecnológicas, pela intensificação de parcerias internacionais com escolas congéneres europeias, pela criação de um curso de mestrado e por manter uma postura de total abertura à sociedade e flexibilidade adaptada às necessidades do mercado.

#### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A situação presente beneficia da consolidação de grandes melhorias com a inauguração das novas instalações da EHO, em 2009, da revisão do conteúdo programático dos cursos, da acreditação internacional e da implementação de um sistema de avaliação da qualidade da formação.

A visão da EHO assenta num processo de melhoria contínua da qualidade da formação, que passa pelo reconhecimento académico, total abertura à sociedade e por maior flexibilidade, usando as valências já existentes e adaptando às necessidades de formação que nos são colocadas. Porque acreditamos que os portugueses terão cada vez mais interesses no mar a formação qualificada em hidrografia será cada vez mais necessária.

#### REFERÊNCIAS

- Aguilar, T., R. Arenga, S. Ribeiro, S. Serafim, A. Silva, M. Sousa (2001). *A Marinha na Investigação do Mar 1800-1999*, Instituto Hidrográfico, Lisboa.
- Coutinho, Gago (1951 e 1952), *A Náutica dos Descobrimentos*.
- OHI (2011). Publication S-5, 11.<sup>a</sup> Edition, maio 2011.
- Sousa Leitão, A. E., Reflexões sobre a Moderna Hidrografia Portuguesa. Separata dos Anais do Clube Militar Naval. Número especial comemorativo do primeiro centenário, 1870/1970.
- Cardoso, Z., Marreiros, P., Aguiar, J. e Gonçalves, L. (2012). A Marinha no Ensino da Hidrografia e Oceanografia. *2.ªs Jornadas de Engenharia Hidrográfica Actas*, 43-46.

## ANEXO A

Tabela I – Marcos históricos importantes na formação de Oficiais Hidrógrafos e futura criação do Instituto Hidrográfico

Ano	Formação dos Oficiais da Marinha - Hidrógrafos
1836	O 1.º Curso de Engenheiro Hidrógrafo foi criado por decreto de D.ª Maria II.
1837	<b>Criação da Escola Politécnica de Lisboa</b> , o diploma fundador deixa em aberto a reorganização de um ensino naval, como consta no artigo 77.º, onde estabelecia que: « <i>Em quanto não estiver definitivamente organizada, e estabelecida a Escola Naval, a Cadeira que pertencia ao 3º anno da Academia da Marinha, fica anexa à Escola Polytechnica...</i> ». Decreto de 11 de janeiro de 1837.
1838	Portaria de 26 de julho manda que o lente de artilharia instale uma aula de “Geografia e Hidrografia” na Academia dos Guardas Marinhas.
1845	<b>Organizada e estabelecida a Escola Naval (EN) pela Rainha D. Maria II</b> , por carta de lei de 23 de abril de 1845, em substituição da antiga Academia dos Guardas Marinhas. O decreto que a regulamentava tem a data de 19 de maio do mesmo ano. A Escola Naval, tal qual surge destes dois diplomas, representa um compromisso entre <b>duas visões</b> que se haviam digladiado: a “ <b>politécnica</b> ” e a “ <b>marítima</b> ” (a dos marinheiros). A EN ministrava o ensino aos <b>futuros oficiais de Marinha</b> , aos engenheiros navais e aos pilotos da Marinha Mercante. O curso de «Marinha» tinha a duração de dois anos.
1887	A EN ministra o ensino dos Cursos de Engenheiros Hidrógrafos.
1892	<b>Revisão do Programa de Formação dos Engenheiros Hidrógrafos</b> , lecionado todo no país. O segundo ano era frequentado na Repartição de Hidrografia, no fim era exigido um exame e a defesa de uma tese escrita.
1897	Reforma da Escola Naval, o “ <b>Ensino da Hidrografia</b> ”, que fazia parte da cadeira de Navegação, passa a <b>cadeira autónoma, na Escola Naval</b> , do Curso dos Oficiais de Marinha. Foi importante para o ressurgimento da hidrografia portuguesa. Reconhecida a <b>necessidade de criar a especialização em hidrografia</b> , tendo sido o respetivo ensino dividido em duas partes: uma de carácter geral – curso de marinha – e outra complementar e facultativa – especialização em hidrografia.
1903	<b>Criação da Escola Auxiliar de Marinha</b> destinada aos militares das classes de Oficiais de Marinha, onde era realizado o Curso de Hidrografia -Ensino Técnico. Extinta em 1924.
1924	<b>Nova fase do ensino naval:</b> Organização da Escola Naval e da Escola Náutica e extinção da Escola Auxiliar de Marinha (Decreto 10.084 de 20 de agosto). Regime de Escola Única – Os cursos de oficiais de marinha e o complementar de oficiais de marinha, são ministrados na EN.
1925	<b>Especialização de Hidrografia e Navegação para os oficiais de Marinha, engenheiros Hidrógrafos</b> [Aguilar et al., 2001].
1945	Reestruturação do Curso de Engenheiro Hidrógrafo, sendo a sua duração fixada em 4 anos. Da estrutura curricular do curso fazia parte a frequência de várias cadeiras, durante 2 anos, na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e no Instituto Superior Técnico, o aperfeiçoamento de hidrografia e radioeletricidade, no Ministério da Marinha, seguindo-se os tirocinios práticos com a duração de 1 ano, em organismos nacionais e no Ministério da Marinha, Decreto-Lei n.º 34 630, de 26 de maio de 1945.
1947	Parte do Curso de Engenheiro Hidrógrafo, relativo ao aperfeiçoamento de hidrografia e alguns dos tirocinios passaram a ser efetuados em serviços ou instituições estrangeiras da especialidade; face às alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 36 598, de 21 de novembro de 1947.
1960	<b>Criação do Instituto Hidrográfico</b> , herdeiro da tradição secular do ensino e da formação da hidrografia e da oceanografia. « <i>Ao serviço de hidrografia, compete especialmente: ... Organizar o curso de engenheiros hidrógrafos e outros que venham a ser criados para a preparação especializada do pessoal, de acordo com as diretivas emitidas pelo Estado-Maior da Armada.</i> », nos termos do artigo 9.º, n.º 7.º, do Decreto-Lei n.º 43 177, de 22 de setembro de 1960.
1961	A Marinha reconhece a <b>necessidade de reorientar os futuros engenheiros hidrógrafos</b> , para obter formação em escolas estrangeiras, tendo como objetivo a atualização, <b>segundo padrões internacionais</b> , dos conhecimentos técnicos em hidrografia e oceanografia ( <b>saber o “Estado da Arte”</b> ) e estimular os alunos para a investigação científica. Nova estrutura curricular do curso de engenheiros hidrógrafos, conforme estabelece o <b>artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 43 972, de 20 de outubro de 1961</b> , o qual revoga toda a legislação em contrário. Desde então, os alunos da EN, especializados em hidrografia, deixam de frequentar as cadeiras de especialização na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e no Instituto Superior Técnico. <i>Este diploma foi revogado pelo Decreto-Lei n.º 34-A/90, de 24 de janeiro.</i>
1963	<b>Primeiros engenheiros hidrógrafos</b> a frequentar a <b>Escola de Aplicação do Serviço Hidrográfico Francês, em Paris</b> e nos <b>Estados Unidos da América</b> . Posteriormente passam a frequentar a <b>ENSTA (École Nationale Supérieure de Techniques Avancées) – França</b> e mais recentemente a preparação dos engenheiros hidrógrafos faz-se no <b>Canadá, (área de hidrografia)</b> e nos <b>Estados Unidos da América, na Navy Postgraduate School (área de oceanografia)</b> .
1967	<b>Criação do primeiro curso médio para técnicos de oceanografia, «Curso de técnicos auxiliares de oceanografia», que surge da falta de pessoal qualificado para manusear instrumentos e realizar observações de rotina oceanográfica de campo e de gabinete, de acordo com o Decreto-Lei n.º 47 987, de 9 de outubro de 1967.</b>
1970	<b>Criação do Centro de Instrução de Hidrografia e Oceanografia</b> , tendo como objetivos e competências: “ <i>Estudar e propor os centros estrangeiros onde devem ser frequentados os cursos de engenheiro hidrógrafo e de especialização em oceanografia, enquanto estes não funcionarem em Portugal.</i> ” Decreto-Lei n.º 26/70, de 15 de janeiro, alínea h), artigo 2.º conjugado com Portaria n.º 399/70, de 14 de agosto, alínea a), do n.º 2, do artigo 18.º. A Portaria n.º 252/74, de 6 de abril, refere a Escola de Hidrografia e Oceanografia (Instituto Hidrográfico), como um dos estabelecimentos de ensino da Armada.
1978	<b>Curso de Especialização em Hidrografia é frequentado por segundos-tenentes ou primeiros-tenentes da classe de marinha</b> , isto para acautelar a seleção e qualificação dos futuros engenheiros hidrógrafos), com o seguinte fundamento: “ <i>Considerando que as brigadas e missões hidrográficas ... não podem desempenhar o papel de escola de hidrografia antes proporcionado pelas antigas missões.</i> ” Portaria n.º 36/78, de 19 de Janeiro cfr. Portaria n.º 411/78, de 27 de julho.

## A Equipa Hidrográfica de Intervenção Rápida

J. Vicente <sup>(1)</sup>, M. Arenga <sup>(1)</sup>, C. Marques <sup>(1)</sup>, M. Miranda <sup>(1)</sup> e J. Cruz <sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico. delgado.vicente@hidrografico.pt

**Resumo:** O Instituto Hidrográfico (IH), enquanto serviço hidrográfico nacional, cf. Decreto-lei n.º 202/2007 de 25 de maio, é responsável pela produção e atualização da cartografia náutica, assumindo também funções de segurança da navegação em caso de desastre ou de catástrofe natural, para avaliação de áreas restritas ou interditas à navegação e de eventuais intervenções para a manutenção da navegabilidade e da acessibilidade aos portos. Para o cumprimento da sua missão, o Instituto dispõe de sistemas e equipamentos especializados. Com estas capacidades e meios próprios, que podem ser projetados para qualquer ponto do território nacional, o IH dá apoio às operações navais e da autoridade marítima, onde se inclui também o apoio meteorológico e oceanográfico. Nos últimos anos ocorreram várias situações de emergência em que o IH foi chamado a colaborar. Através da experiência obtida e das lições aprendidas nessas operações, foi criada uma Equipa Hidrográfica de Intervenção Rápida (EH-IR), com formação, treino e prontidão para intervenção eficiente e eficaz em diversas situações. A presente comunicação tem por objetivo dar a conhecer a estrutura e as valências da EH-IR como componente operacional do IH para o conhecimento dos espaços marítimos e dos processos que neles ocorrem, disponibilizando esse conhecimento aos utilizadores e decisores que dele necessitam.

**Palavras-chave:** Levantamentos hidrográficos, Emergência, Operações Navais.

### 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos ocorreram várias situações em que equipas do IH foram empenhadas em cenários de crise, como por exemplo:

- Busca de viaturas sinistradas no seguimento da queda da ponte “Hintze Ribeiro”, no rio Douro, em 2001;
- Detecção de objetos e busca de embarcações naufragadas;
- Avaliação da segurança da navegação após alterações no fundo dos portos, como foi o caso do porto do Funchal após o aluvião de 2010;
- Naufrágio do navio mercante “Nautila” na barra do porto de Lisboa, em 2003;
- Incidentes com aeronaves no mar, como ocorreram no portinho da Arrábida, em 2000, e na costa norte da Madeira, em 2003;
- Afundamento do navio “Prestige”, em 2002;
- Cálculos da deriva provável de objetos ou em acidentes com pessoas no mar.

Internacionalmente, a resolução n.º1/2005 (IHO RESPONSE TO DISASTERS) da Organização Hidrográfica Internacional, criada após os *tsunamis* no Oceano Índico e no Japão, estabelece um conjunto de procedimentos e orientações que os estados costeiros devem assumir, nomeadamente:

- Garantir a avaliação imediata dos danos e seus efeitos sobre a segurança da navegação;
- Informar imediatamente os navegantes e outras partes interessadas de dano relevante e de todos os perigos, em particular em relação a perigos para a navegação;
- Reestabelecer as principais rotas de transporte marítimo básico;
- Garantir que as cartas e publicações náuticas de áreas afetadas são atualizadas o mais rapidamente possível.

O IH, como órgão da Marinha, tem ainda a competência e a responsabilidade no apoio às operações navais, nomeadamente:

- Busca e deteção de objetos (guerra de minas);
- Levantamentos em zonas onde a informação hidrográfica é inexistente ou desatualizada;
- Operações *Recognized Environmental Picture* (REP) e *Rapid Environmental Assessment* (REA).

De modo a fazer face a este conjunto de situações, designadas de emergência, onde é requisito fundamental uma resposta rápida, eficaz e eficiente, o Instituto Hidrográfico criou, em 2013, a Equipa Hidrográfica de Intervenção Rápida (EH-IR). A criação desta equipa é fundamental para efeitos de coordenação de meios, treino, formação e prontidão.

### 2. EQUIPA HIDROGRÁFICA DE INTERVENÇÃO RÁPIDA

A EH-IR constitui uma resposta eficaz e eficiente em situações onde é necessário um diagnóstico rápido para a segurança da navegação, sendo reforçada para intervenções em cenários de busca de sub-superfície ou de apoio a operações de seguimento ou de cálculo de deriva. Além destas situações, em contexto de catástrofe ou de acidentes, no âmbito da proteção civil (apoio às operações de autoridade marítima), a EH-IR deverá constituir-se como a capacidade do IH para apoio a atividades militares (operações navais).

A EH-IR reúne valências da Brigada Hidrográfica e de várias Divisões do IH, sendo acionada sempre que requerida uma resposta rápida e multidisciplinar.

### 3. ATIVIDADES

As atividades da EH-IR são as que se indicam abaixo, sendo que a cada uma corresponderá a



ativação de um grupo-tarefa dedicado, o qual é gerado e potenciado pelas capacidades existentes nas diferentes áreas funcionais do IH.

### 3.1. Levantamento hidrográfico

Os levantamentos hidrográficos são realizados com sondadores multifeixe (SMF) ou de feixe simples. Os SMF distinguem-se por poderem garantir a busca total do fundo com elevada densidade de medições, permitindo a construção de modelos batimétricos de elevada resolução. Permitem, ainda, a aquisição de informação de refletividade, utilizada para caracterização do fundo marinho (identificação de diferentes tipos de sedimentos superficiais), e de informação de retrorefletividade na coluna de água (imagens 3D), empregue na deteção de objetos imersos.

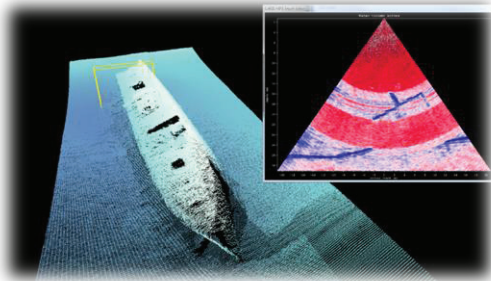


Figura 1 – Mastro do navio visível na informação de coluna de água mas não representado na informação batimétrica.

Tendo em vista a recolha da informação necessária à caracterização geomorfológica do fundo ou à localização e identificação de objetos afundados, podem ainda ser utilizados sondador interferométrico ou sonar lateral de casco, ambos os sistemas vocacionados para águas pouco profundas.

### 3.2. Sonar lateral rebocado

Estes sistemas, em termos de resolução e capacidade de deteção, são os meios primordiais para localização de objetos submersos e caracterização do tipo de fundo, desde que, localmente, estejam reunidas as condições necessárias para realizar a operação de reboque.

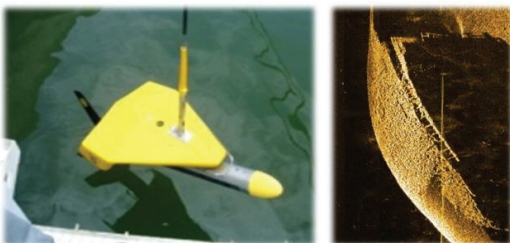


Figura 2 – Sonar lateral e imagem acústica de navio naufragado.

### 3.3. Levantamento com magnetómetro

O magnetómetro é utilizado para deteção de objetos com assinatura magnética, nomeadamente em locais onde a eficácia dos sondadores multifeixe ou dos sonares laterais seja menor, por exemplo, localização de pequenos objetos em fundos muito irregulares ou objetos já cobertos por camadas

sedimentares.

### 3.4. Inspeção com ROV

O ROV (*Remotely Operated Vehicle*) é utilizado em locais de maior profundidade, onde o recurso a mergulhadores para identificação de objetos seja impossível, de difícil execução ou de menor rentabilidade.



Figura 3 – ROV e imagem de navio naufragado.

### 3.5. Apoio METOC

Esta atividade, transversal a todas as operações, contempla o apoio em termos de previsão ambiental (*Meteorology and Oceanography* - METOC), essencial para planear e executar as diversas atividades.

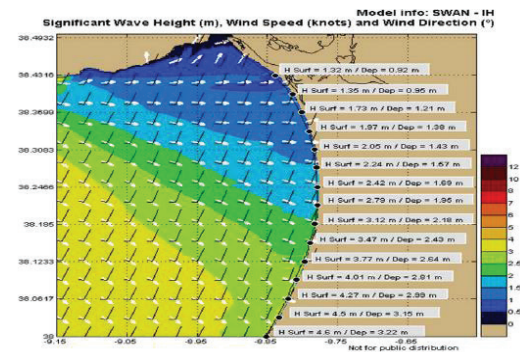


Figura 4 – Página de previsão ambiental do IH.

### 3.6. Correntes

A determinação de correntes pode ser realizada através do lançamento de boias derivantes e/ou da operação de sistemas portáteis de radar HF (correntes superficiais) e/ou a realização de estações correntométricas (correntes de sub-superfície).

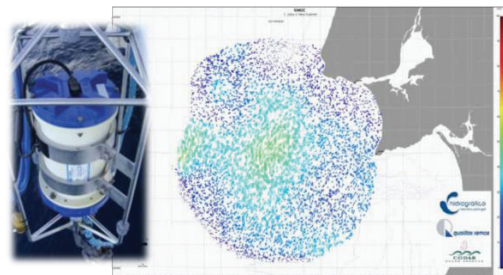


Figura 5 – Equipamento CTD utilizado para medição de parâmetros físico-químicos da água e de correntes e, imagem que ilustra a medição de correntes superficiais através de sistema radar.

### 3.7. Deriva

Envolve o cálculo de deriva para previsão da posição futura de objetos, a usar na busca de superfície e/ou no apoio ao seguimento de derrames.

### 3.8. Operação REA

As operações REA, descritas com detalhe por RAN (2005), consistem na observação e descrição dos fatores ambientais relevantes para a condução de operações navais, como por exemplo, perigos para a navegação, caracterização geomorfológica do fundo do mar, medição dos parâmetros geoacústicos, velocidade de propagação do som e parâmetros físico-químicos da água do mar, caracterização biológica e identificação de ameaças, bioluminescência, agitação marítima e correntes, propriedades óticas ao longo da coluna de água, transmitância atmosférica e oceânica, direção e intensidade do vento, parâmetros atmosféricos, etc.

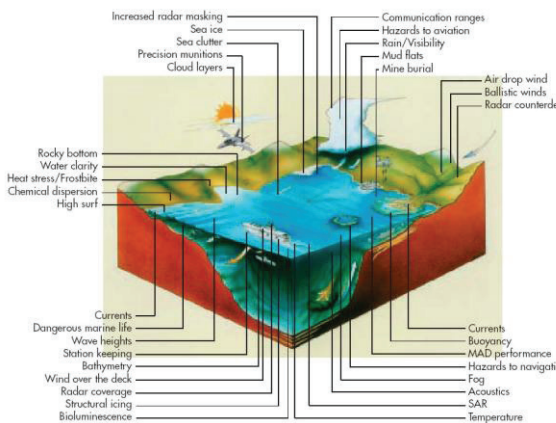


Figura 6 – Aspectos a ter em consideração no REA (Imagem US Naval Meteorology and Oceanography Strategic Plan May 1997).

### 3.9. Produtos cartográficos

Respeita à elaboração de cartas de apoio à navegação e de mapas temáticos para apoio à decisão ou para a condução das operações.

## 4. ORGANIZAÇÃO E CENÁRIOS

A EH-IR é acionada pelo Diretor-geral do IH, com delegação da coordenação e orientação técnica no Diretor Técnico, assumindo o Chefe da Brigada Hidrográfica a coordenação das atividades no terreno.

A EH-IR é constituída por grupos-tarefa gerados a partir dos recursos existentes nas Brigadas Hidrográficas e nas diversas divisões e serviços do Instituto Hidrográfico. Cada grupo tarefa é responsável tecnicamente pela condução de uma determinada atividade (descritas anteriormente).

A EH-IR pode ser ativada na presença dos cenários ilustrados nas Figuras 7 e 8, correspondendo ao reconhecimento de capacidades no IH para intervenção em quatro cenários de proteção civil (apoio às operações de autoridade marítima) e quatro cenários de apoio às operações navais.

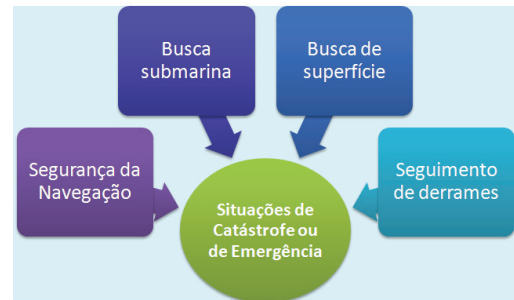


Figura 7 – Situações de catástrofe ou de emergência.

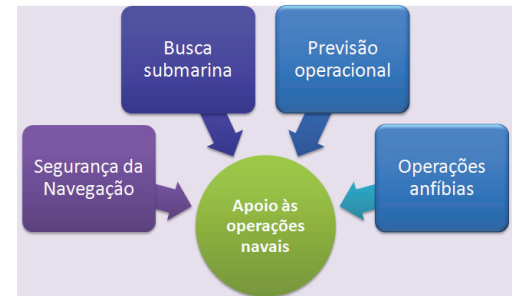


Figura 8 – Apoio às operações navais.

Para cada cenário estão identificados os recursos (humanos, meios e equipamentos) necessários à condução de cada atividade.

A EH-IR utiliza os meios do IH e, quando necessário, embarcações de oportunidade. Dos meios próprios destacam-se duas embarcações costeiras e cinco portuárias, botes, semirrígidas e uma mota de água.



Figura 9 – Embarcações do IH a bordo do NRP ALM Gago Coutinho.

## 5. TREINO E FORMAÇÃO

Considerando que a EH-IR é gerada a partir dos recursos existentes, a formação necessária à manutenção das capacidades enunciadas apoia-se nas ações ministradas no âmbito do plano de formação do IH.

Anualmente, a EH-IR participa em exercícios de treino de modo a testar a prontidão da equipa e dos equipamentos/sistemas, de modo a atingir os padrões de desempenho exigidos e relativos às atividades a efetuar. Estes exercícios são realizados em condições que simulam cenários prováveis. A condução destes exercícios permite a integração de diversos técnicos do IH numa única equipa, a recolha de lições aprendidas que permitem melhorar

procedimentos, a avaliação de aspetos de coordenação e, tendo em consideração os custos inerentes à realização destes exercícios, os dados adquiridos poderem ser utilizados no âmbito das missões do IH.

Em 2013, a EH-IR participou em dois exercícios conduzidos pelas Forças Armadas.

### 5.1. Exercício REP13

O objetivo deste exercício consistiu em avaliar a capacidade expedicionária da Marinha Portuguesa na área de guerra de minas, proteção portuária e REP. Decorreu na baía de Sesimbra e no porto de Setúbal. Com o objetivo de identificar potenciais ameaças (minas), foram realizados levantamentos com sondador multifeixe, sonar lateral e magnetómetro, assim como recolhida informação oceanográfica e ambiental no acesso ao porto. A EH-IR, ativada de 8 a 17 de julho, foi constituída com 15 elementos, tendo operado a partir das instalações do ponto de apoio naval de Troia.

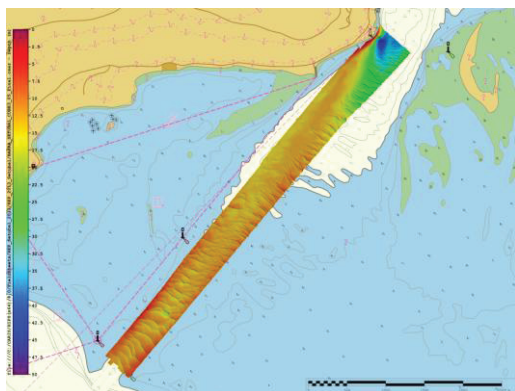


Figura 10 – Imagem do modelo batimétrico do levantamento hidrográfico realizado na barra do porto de Setúbal.

### 5.2. Exercício LUSITANO 2013

O exercício LUSITANO 2013, organizado pelo Estado-maior General das Forças Armadas, realizou-se de 20 a 23 de novembro na Ilha da Madeira. Entre outros cenários operacionais, o exercício pressupôs a não navegabilidade do porto do Funchal. A EH-IR teve como missão efetuar um levantamento hidrográfico no porto do Funchal e entregar um produto cartográfico à força naval, para que, no dia 23, os navios pudessem atracar em segurança.

A EH-IR, constituída por quatro elementos da Brigada Hidrográfica e pelos meios necessários (embarcação “Mergulhão” e sondador multifeixe), efetuou o trânsito de Lisboa para o Funchal a bordo do NRP “Almirante Gago Coutinho”, tendo sido largada no porto do Funchal no dia 20 de novembro. Neste dia, a EH-IR efetuou ainda os trabalhos de apoio em terra. Durante o dia 21, a EH-IR efetuou o levantamento do porto e a análise dos dados. Com o apoio da Divisão de Hidrografia produziu um produto cartográfico no formato de carta eletrónica (S-57), que foi disponibilizado à força naval no dia 22 de manhã.

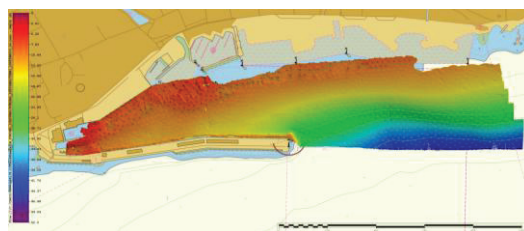


Figura 11 – Imagem do modelo batimétrico do levantamento hidrográfico realizado no porto do Funchal.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A EH-IR emerge na estrutura do IH como uma entidade singular, não se encontrando dissociada daquela mas antes servindo-se das capacidades e meios existentes, com caráter funcional, ágil e eficaz, alicerçada na experiência e conhecimento acumulados no IH e adaptada para o que se considera ser a resposta adequada às solicitações no âmbito do apoio às operações navais e da Autoridade Marítima.

A criação da EH-IR veio acrescentar aos recursos e às capacidades do IH:

- A existência de uma linha de comando única e clara na área de operações;
- A manutenção de um estado de prontidão (recursos humanos, meios e equipamentos);
- A melhoria da integração de recursos humanos provenientes das diversas áreas técnicas, subordinando-os, no período de ativação da EH-IR, a uma única chefia (facilitador da multidisciplinidade);
- O planeamento adequado de ações de treino e formação;
- O registo e discussão de lições aprendidas;
- A garantia de que a componente logístico-administrativa da operação é convenientemente assegurada.

A EH-IR constitui-se como a componente operacional e de resposta rápida do IH para o conhecimento do espaço marítimo e dos processos que nele ocorrem, disponibilizando esse conhecimento aos utilizadores e decisores que dele necessitem.

## REFERÊNCIAS

- IH (2013). “IP.OR.03 – A Equipa Hidrográfica de Intervenção Rápida”, Instituto Hidrográfico, 2013.
- OHI (2005). “Resolução nº1/2005 - IHO RESPONSE TO DISASTERS”, Organização Hidrográfica Internacional, 2005.
- RAN, P. J. (2005). Rapid Environmental Assessment - Emerging Requirements For Military Hydrography, U.S. Hydro 2005 Conference, S. Diego, California ([http://www.thsoa.org/hy05/02\\_1.pdf](http://www.thsoa.org/hy05/02_1.pdf)).



# Levantamentos Hidrográficos com Sondador de Feixe Simples

V. Capelo<sup>(1)</sup>, J. Vicente<sup>(2)</sup> e R. Silva<sup>(3)</sup>

- (1) Escola de Hidrografia e Oceanografia, [vasconceloscapelo@hidrografico.pt](mailto:vasconceloscapelo@hidrografico.pt)
- (2) Brigada Hidrográfica, [delgado.vicente@hidrografico.pt](mailto:delgado.vicente@hidrografico.pt)
- (3) NRP “Almirante Gago Coutinho”, [pinto.silva@marinha.pt](mailto:pinto.silva@marinha.pt)

**Resumo:** A evolução tecnológica que suporta a hidrografia tem sido enorme nas últimas décadas, a hidrografia tem evoluído nos procedimentos, técnicas e métodos de aquisição, validação e processamento dos dados. Os levantamentos hidrográficos realizados com sondadores de feixe simples, sendo uma tecnologia que perdurou ao longo dos anos até à presente data, tiveram uma evolução assinalável. O objetivo deste trabalho é a análise dos levantamentos hidrográficos com sondador de feixe simples, referindo os sistemas que atualmente são utilizados, tendo como referência as fases de planeamento, aquisição e processamento dos dados hidrográficos. Salienta-se o avanço tecnológico verificado entre os levantamentos tradicionais e os realizados atualmente pelo Instituto Hidrográfico, referindo as vantagens que daí resultam, tanto ao nível dos procedimentos técnicos como dos meios materiais e humanos, que se tornaram economicamente significativas.

**Palavras-chave:** Levantamentos Hidrográficos, Sondadores de Feixe Simples, Sondas.

## 1. INTRODUÇÃO

A publicação S-44 da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), no que concerne aos levantamentos hidrográficos realizados com sondadores de feixe simples, refere que as fiadas principais de sondagem devem ser efetuadas com uma orientação perpendicular à batimetria e que os afastamentos da embarcação relativamente às fiadas principais de sondagem não devem ir além de 30% do valor do espaçamento entre fiadas. Este conceito vem dos levantamentos tradicionais, nos quais havia algumas limitações no que diz respeito ao posicionamento, pois apenas nas posições de controlo, denominadas por “foras”, eram efetivamente conhecidas os valores da profundidade e do posicionamento, conseguido com três linhas de posição ou outro sistema de posicionamento usado, sendo que as posições das sondas entre os “foras”, que entretanto eram digitalizadas do rolo do sondador, eram interpoladas tendo como referência o posicionamento obtido entre os “foras” controlados. Atualmente, o processo está automatizado, o sinal analógico do sondador foi substituído pelo sinal digital e as três linhas de posição pelas posições do GNSS (*Global Navigation Satellite System*), os “foras” que eram obtidos periodicamente, adquiridos normalmente de vinte em vinte segundos, foram substituídos por “foras” quase contínuos, resultado da taxa de aquisição otimizada pelo novo programa de hidrografia, disponibilizando cerca de dez “foras” por segundo. Os dois ficheiros das profundidades digitalizadas e das posições adquiridas foram substituídos por um só ficheiro que reúne, automaticamente e em tempo real, aquelas duas informações, bem como outras tantas informações, consoante os sensores que se pretende ligar ao programa de hidrografia adotado.

O programa de hidrografia, utilizado no Instituto Hidrográfico para efetuar levantamentos hidrográficos com feixe simples, permite planejar um levantamento hidrográfico, utilizar esse planeamento, efetuar a aquisição de dados de posicionamento e profundidade, processar essa informação e apresentar produtos finais em vários formatos. O programa de hidrografia apresenta um interface gráfico amigável do utilizador, no qual se pode adicionar diversas ferramentas de apoio, como cartas náuticas ou outra informação geográfica nos mais diversos formatos.

Devido à versatilidade que apresenta, este programa é, também, utilizado para visualizar e gravar em tempo real o posicionamento de uma plataforma ou de um sensor, necessários nas áreas da geologia marinha, navegação, oceanografia e topografia, ou noutras áreas de investigação das ciências do mar.

O presente trabalho para além da introdução e conclusão, contém cinco pontos relacionados com os levantamentos hidrográficos efetuados com sondadores de feixe simples e nos quais são descritos procedimentos a ter em conta quando se utiliza um programa de hidrografia para aquisição e processamento de dados.

O primeiro ponto apresenta uma breve descrição do programa que está a ser utilizado no Instituto Hidrográfico, salientando a sua interação com os diversos periféricos necessários e suficientes para que se consiga realizar um levantamento dentro das normas em vigor.

O segundo ponto apresenta a área gráfica do programa que permite realizar todo o tipo de planeamento, tanto para levantamentos hidrográficos como para trabalhos de amostragem sedimentar, salientando aqui a capacidade do programa de gerar



ficheiros georreferenciados a partir de imagens de satélite disponíveis em servidores da internet.

O terceiro ponto apresenta o ambiente de aquisição de dados hidrográficos. Trata-se de um ambiente dinâmico, que permite a aquisição de dados hidrográficos em tempo real, a condução da embarcação para uma posição planeada para recolha de amostras de fundo ou o fundeamento de uma boia na posição.

O quarto ponto apresenta o processamento de dados hidrográficos, salientando-se a capacidade do programa de permitir a reunião, em pós-processamento, de toda a informação necessária para que o processamento dos dados que foram adquiridos se possa efetuar conforme as normas em vigor, desde o ficheiro de marés e a imersão do transdutor, até o ajustamento do sensor de movimentos e a introdução do valor da latência ou mesmo o processamento propriamente dito.

No quinto e último ponto serão apresentados os resultados finais do processamento, nomeadamente o cálculo da estatística, que permite validar o levantamento efetuado, a supressão de sondas para gerar o modelo digital do terreno, que irá permitir efetuar o ficheiro batimétrico e a exportação dos dados em diversos tipos de ficheiro, consoante o tipo de objetivos a que se destinam, e a versatilidade dos sistemas de sondagem existentes no IH, comparando dados adquiridos com sistemas de feixe simples com informação multifeixe.

### 1.1. Descrição do Programa

Trata-se de um programa compatível com o sistema operativo *Windows*, que permite realizar o planeamento, a aquisição e o processamento de dados hidrográficos. O programa interage com diversos periféricos, podendo agregar dados oriundos de diversos sensores ou periféricos em simultâneo, desde que estejam ligados ao programa através dos seus interfaces. A medição da grandeza tempo é o elo de ligação comum a todos os equipamentos que estão ligados ao programa. De salientar os equipamentos mais usuais num levantamento hidrográfico realizado com feixe simples: o sondador acústico, o *Differential GNSS* (DGNSS) e o sensor de movimentos. O sistema permite calcular a posição relativa de todos os equipamentos referida à posição onde se localizam os transdutores do sondador acústico, para que todos estejam na mesma vertical do lugar.

Quando em modo de planeamento, é necessário selecionar um sistema de referência que permita trabalhar, desde do início, georreferenciado. Antes de realizar o planeamento de fiadas ou de estações oceanográficas, permite a introdução de ficheiros auxiliares de linha de costa, nos mais diversos formatos, inclusive efetuar uma ligação direta à internet em *Google Maps*. Trata-se de ajudas auxiliares que permitem uma melhor perceção do

local onde se vai realizar o trabalho e, conseqüentemente, com vantagens significativas para a componente logística, melhorando desta forma o desempenho da equipa hidrográfica que se encontra no terreno.

Quanto ao modo de aquisição, o sistema é diferente do apresentado no de planeamento, no entanto, tanto os auxiliares utilizados como os produtos criados na área do planeamento podem ser controlados neste novo ambiente. Trata-se de um ambiente interativo, por conseguinte dinâmico, cuja operacionalidade depende do pleno funcionamento dos periféricos que se encontram ligados ao programa. É neste ambiente interativo que se verifica, desde a criação do programa, a sua grande inovação, que é o simples facto de permitir reunir toda a informação que recebe dos periféricos num só ficheiro de dados. Em virtude desta facilidade, existem implicações económicas e logísticas significativas, transversais a todas as fases do levantamento, desde o planeamento até à aquisição e, principalmente, durante o processamento dos dados.

A fase do processamento é, realmente, a que tem maior rentabilidade relativamente ao que era efetuado, pois no sondador acústico o sinal analógico foi substituído pelo sinal digital, representando a mudança uma maior rapidez no processamento, de seis dias passa para um, e um indivíduo realiza as tarefas de uma equipa de três. Basicamente, no seu conjunto, o trabalho que antes era realizado no levantamento por uma equipa de oito indivíduos é agora efetuado por apenas três.

Os produtos finais também sofreram evoluções significativas, tendo diversos procedimentos manuais passado a ser executados automaticamente (cálculo da estatística do levantamento, batimetria, etc.).

Existem algumas rotinas do programa que têm utilidade consoante o trabalho solicitado, sendo de salientar: a geração do modelo digital do terreno, que além de gerar a batimetria gera, também, outro tipo de produtos nos mais diversos formatos; o cálculo da latência; a realização dos ficheiros de marés no modo manual e de forma automática, quando é necessário ter em conta dois ou mais marégrafos para o mesmo levantamento; a geração de uma quadrícula; a exportação de ficheiros nos mais diversos formatos e conteúdos de informação; a mudança de sistemas de coordenadas de um projeto; e a realização de perfis a partir das fiadas de sondas ou a partir da geração do modelo digital do terreno.

### 1.2. O planeamento

Realizar um novo projeto e implementar o sistema de referência são os passos efetuados no programa e que antecedem a fase de planeamento propriamente dita, obviamente que a montante destas tarefas existe o denominado “reconhecimento”. Efetivamente, para efetuar um planeamento é importante conhecer

a área a levantar, as características da batimetria, de forma a identificar os fundos espalhados, os baixios, as embarcações naufragadas, os ilhéus isolados e outras obstruções artificiais, como por exemplo recifes artificiais ou mesmo gasodutos ou oleodutos genericamente conhecidos por *pipelines*. O planeamento é fundamental porque permite facilitar as manobras dos navios ou embarcações de sondagem, além de possibilitar, também, a monitorização dos fundos, caracterizar a sua morfologia para melhor identificar e georreferenciar os obstáculos acima referidos e proceder à atualização cartográfica.

Na figura 1 é apresentado três tipos de planeamentos que são utilizados consoante as características do terreno ou o fim a que se destina: Fiadas radiais para detetar sondas duvidosas, para zonas junto às cabeças dos molhes de proteção ou em situações semelhantes à apresentada na qual o centro é o Bugio; Fiadas paralelas entre si, é o planeamento mais usual e adapta-se consoante a configuração batimétrica; por último o planeamento tendo como referência uma fiada ao centro que normalmente coincide com o centro de um molhe no qual a área envolvente é sujeita ao levantamento hidrográfico.



Fig. 1. Diversos tipos de planeamentos.

Na área do planeamento é possível gerar ficheiros com formato que permite cruzar a informação que se conseguiu compilar com as imagens de satélite, disponíveis em servidores na internet, o que significa um passo assinalável na segurança da navegação e na melhoria do planeamento propriamente dito, uma vez que permite a verificação dos sistemas de referência introduzidos no sistema (figura 2).

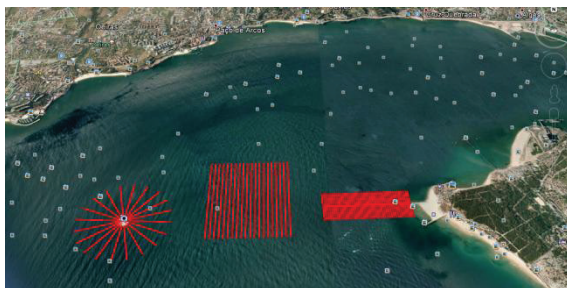


Fig. 2. Planeamentos projetados no Google Maps.

Assim, como a informação dos últimos levantamentos efetuados na área se encontra, muitas vezes, em referenciais geodésicos diferentes, torna-

se possível utilizar uma rotina do programa para os transformar no sistema de referência em vigor.

### 1.3. Aquisição de dados hidrográficos

O módulo de aquisição de dados hidrográficos requer uma série de preparativos que passam por estabelecer os periféricos necessários para o levantamento, nomeadamente o sondador acústico de feixe simples, o DGNSS e o respetivo rádio de ligação, para receber as correções que vêm da estação de referência em terra, e o sensor de movimentos; todos os equipamentos devem estar ligados ao programa através da configuração correta de cada um dos interfaces correspondentes. A verificação do posicionamento, a calibração do sondador acústico, a escolha do lugar adequado para efetuar as fiadas para o cálculo da latência e o estabelecimento do marégrafo, devem preceder à aquisição de dados hidrográficos, uma vez que se trata de requisitos fundamentais e necessários e que, mais tarde, irão servir de referência para melhor ajustar todas as variáveis que fazem parte deste procedimento. Importa aqui referir a capacidade que o programa de aquisição tem para passar tudo o que se efetuou/compilou no módulo de planeamento para o módulo *Survey*.

### 1.4. Processamento de dados hidrográficos

O processamento de dados hidrográficos requer alguns procedimentos *a posteriori*, nomeadamente o cálculo da latência, a elaboração dos ficheiros de marés obtidos de forma manual ou, no caso de ter sido necessário, em dois ou mais marégrafos (para melhor determinação dos dados de maré por interpolação) e a determinação da imersão do transdutor. No processamento propriamente dito, importa referir determinadas capacidades de tratamento e análise de dados, que vão desde a interpolação de valores de profundidade, filtros para retirar os ecos falsos e, ainda, a opção de selecionar a leitura da frequência dos 33 KHz em detrimento da dos 210 KHz.

Na figura 3 é apresentado o ecograma digital a partir do qual é possível designar sondas mínimas (pontos a branco) ou avaliar consistência da informação dos 33/200 kHz

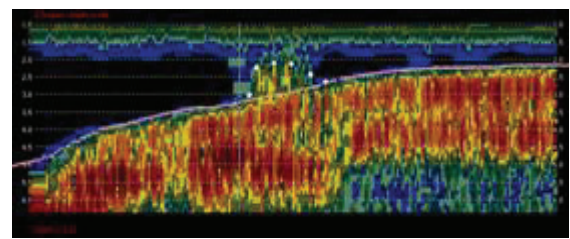


Fig. 3. Ecograma digital de Sondador de Feixe Simples com as frequências 33/200 kHz.

## 2. VERSATILIDADE DOS SISTEMAS DE SONDAÇÃO E OS PRODUTOS FINAIS

Após o processamento dos dados hidrográficos é necessário verificar se os dados processados estão

conformes, procedendo-se ao cálculo da estatística, à supressão de sondas na escala do levantamento, à elaboração do modelo digital do terreno (para que seja possível gerar a batimetria), ao desenho da quadrícula adequada (para efetuar a implantação gráfica) e à exportação de diversos produtos gráficos, sendo possível disponibilizar variados tipos de ficheiros, que vão desde os ficheiros de texto, nos seus diversos conteúdos e consoante os objetivos a que se destinam, até aos ficheiros compatíveis com programas CAD.

O avanço tecnológico permite a versatilidade dos sistemas de sondagem, sendo compatíveis são suscetíveis de comparação e de análise dos dados entre os sistemas de sondagem de feixe simples com os de multifeixe. A aquisição de dados hidrográficos com os dois sistemas é uma realidade cada vez mais frequente. Os levantamentos hidrográficos com sondadores de feixe simples são um bom complemento aos levantamentos com sondadores multifeixe, em áreas de profundidade inferior a 5 m próximas da rebentação ou onde as embarcações de sondagem de maior porte não devam sondar por razões de segurança. Estas zonas podem ser sondadas com recurso a embarcações tipo bote pneumático ou mota de água e sondadores de feixe simples.

A figura 4 apresenta a sobreposição de dados hidrográficos adquiridos com os dois sistemas de sondagem acima referidos.

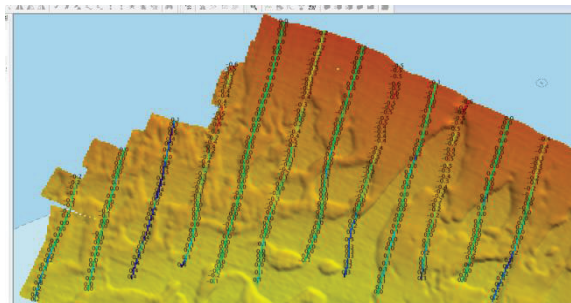


Fig. 4. Dados hidrográficos adquiridos com os sistemas de feixe simples e de multifeixe.

A figura 5 apresenta os dados estatísticos resultantes da diferença entre os dados hidrográficos adquiridos com os sistemas de multifeixe e de feixe simples acima referidos.

Da comparação dos dados hidrográficos foram identificados 1803 casos comparáveis, das diferenças encontradas foram obtidos o desvio padrão de 0,10 m e a média de 0,11 m.

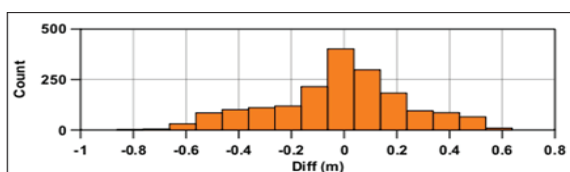


Fig. 5. Dados estatísticos resultantes da comparação de dados hidrográficos.

Os valores apresentados encontram-se dentro dos critérios referidos na publicação S-44, consoante o tipo de levantamento e para um nível de confiança a 95%, no qual estão incluídas as fontes de erro na medição da profundidade e na redução de maré.

### 3. CONCLUSÃO

O aparecimento de programas hidrográficos com estas características significou, há cerca de 15 anos, um salto importante nos levantamentos hidrográficos com sondadores acústicos de feixe simples, onde a aquisição de dados hidrográficos de forma contínua substituiu a aquisição de dados hidrográficos que apenas os “foras” é que tinham as posições geograficamente determinadas, sendo que as restantes posições eram determinadas por interpolação, tendo como referência os “foras” mais próximos.

A passagem do registo analógico do sondador acústico para o registo digital e a sua integração no ficheiro de posicionamento, resultando assim apenas num só ficheiro final com toda a informação de sondagem, permitiu encurtar os tempos de processamento.

Nos produtos finais a mudança foi também significativa, tanto no controlo de qualidade, que antes era efetuado pela sobreposição da implantação gráfica das fiadas principais de sondagem com a implantação gráfica das fiadas de verificação, como na realização da batimetria, que era efetuada manualmente. Representou, ainda, economia de recursos humanos, materiais e financeiros.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao comandante Reis Arenga a sua revisão cuidada do texto e as suas oportunas sugestões.

### REFERÊNCIAS

- HYPACK (2013). Hydrographic Survey Software. User Manual. Middletown, CT.
- IHO (2005). Manual de Hidrografia, “Versão traduzida para português pelo Instituto Hidrográfico”, 1.<sup>a</sup> Ed., MAI2005 (correções até ABR2010); disponível em: [http://www.iho.int/iho\\_pubs/CB/C13\\_Index.htm](http://www.iho.int/iho_pubs/CB/C13_Index.htm), consultado em 10.05.14.
- IHO (2008). *IHO Standards for Hydrographic Surveys*. Special Publication n.º 44, 5<sup>th</sup> Edition, International Hydrographic Bureau, Monaco, Feb.; disponível em: [http://www.iho.int/iho\\_pubs/standard/S-44\\_5E.pdf](http://www.iho.int/iho_pubs/standard/S-44_5E.pdf), consultado em 10.05.14.
- Lemos, C., e Capelo, V. (2001). *Utilização do Sistema "HYPACK" em Missões de Hidrografia, Oceanografia e Condução da Navegação em Águas Restritas*. Anais do Clube Militar Naval. Vol. CXXXI. Julho-Setembro 2001. pp. 529-547.



## Dinâmica costeira da costa sul da ilha de Pecixe na Guiné-Bissau

J. Ruiz<sup>(1)</sup>, R. Ramos<sup>(2)</sup>, P. Pery<sup>(2)</sup>, L. Navarro<sup>(1)</sup>

(1) TYPSA - Sevilla. jrcasanueva@typsa.es

(2) TYPSA - Madrid

**Resumo:** A população da ilha de Pecixe na Guiné Bissau está em risco de perder o cultivo tradicional de arroz, chamado “bolanhas”. O arroz foi o principal produto de exportação mas na atualidade a intrusão do mar causou a perda de grande parte destas terras de cultivo. Além disso, a erosão costeira no sul da ilha provoca a perda de dunas e afeta aos cultivos e mangais do interior. A costa sul de Pecixe experimenta um processo natural dinâmico de erosão de duna e praia e de deposição das areias nas restingas, afetando à linha da costa e aos mangais. Ainda que o processo descrito seja natural, a população local luta para preservar a base do seu desenvolvimento –as bolanhas- através de técnicas locais de estabilização da areia da praia mantendo a sua quantidade e evitando os processos de erosão e arraste já referidos. A inexistência total de estudos no litoral desta ilha leva-nos a considerar importante a apresentação dos dados obtidos para um melhor conhecimento da dinâmica costeira da Guiné-Bissau e para a elaboração de ulteriores estudos de proteção.

**Palavras-chave:** Dinâmica costeira, Bissau, Erosão, Mangal, Proteção litoral, Bolanha

### 1. INTRODUÇÃO

O estudo foi efetuado na ilha de Pecixe (Fig. 1) no âmbito do contrato "Apoio ao desenvolvimento Local na Ilha de Pecixe na República da Guiné-Bissau"; - Contrat-cadre Beneficiários 2009 - LOT 2, EuropeAid/127054/C/SER/mult- com financiamento da União Europeia . Este estudo foi requerido à UE pela “Plill Alil”, uma ONG nacional cujo nome vem da língua manjaca e significa “Pecixe é boa”, e cujo grande objetivo é tirar a ilha do isolamento e garantir um desenvolvimento sustentável. A Delegação da UE aceitou analisar a possibilidade de intervir na ilha de Pecixe em três domínios: (i) Recuperação de bolanhas; (ii) Construção de rampas de acesso à ilha e (iii) Proteção ambiental do litoral sul da Ilha.



Fig. 1. Ilha de Pecixe em Guiné Bissau (preto)

Existem poucas publicações sobre a costa da Guiné-Bissau. A maioria delas aborda a questão a partir de planos e programas a nível nacional e focalizado nas áreas do ambiente e da agricultura (Cabral, 2005, Simão da Silva *et al.*, 1998, Lourenço *et al.*, 2002, MDRA-DGFC & IUCN, 1993, IUCN, 1994).

O Parque Nacional das Ilhas do Arquipélago Orango e Reserva da Biosfera de Bolama-Bijagós mereceram a realização de diversos estudos sobre a biodiversidade e riqueza cultural, (Cuq, 2001, IBAP, 2008), enquanto o resto da costa foi tratado só em

conjunto, particularmente o estado dos manguezais e mudanças climáticas. Em resumo, as informações existentes são gerais, mas não há dados específicos de hidrografia marinha para a ilha de Pecixe. No entanto, parece-nos muito importante a compreensão da dinâmica costeira e os processos morfológicos costeiros num país onde a altitude média é de 50 metros (máximo 300 m) e tem uma vasta extensão de costa e numerosas ilhas.

Isso torna Bissau altamente vulnerável às alterações climáticas, à erosão costeira e inundações. Atualmente, os danos da erosão costeira são muito visíveis especialmente na costa NE.

### 2. DATA DE VISITA, TRABALHOS DE CAMPO E MATERIAIS UTILIZADOS.

A missão foi efetuada de 3 a 11 de Fevereiro de 2014 e teve como atividade principal conduzir levantamentos técnicos, reconhecimento da linha de costa, identificação de solos, vegetação e culturas, validação de foto-interpretação e realização de entrevistas com a população local e com as autoridades do porto de Bissau.

Os materiais utilizados foram: cartografia de época colonial, a única disponível, fotografias aéreas datadas em 2004, 2009 e 2012 (Google Maps) e GPS Geodésico.

### 3. DINÂMICA COSTEIRA

#### 3.1. Correntes marinhas e correntes fluviais

Na Guiné Bissau há duas estações: a seca de Dezembro a Maio com chuva muito escassa e a húmida de Junho a Novembro com registros de 2000 mm (quase o total anual). Estas chuvas são fortes e provocam um importante aumento de caudais nos rios e, portanto, nos canais entre ilhas com grande capacidade de transporte de sedimentos.



As correntes de maré ascendentes e a corrente descendente do rio Mansoa chocam no Sudeste da ilha, o que faz que a areia se deposite na costa das ilhas nomeadamente durante o período de chuvas. Além disso, a areia transportada pelos rios, por arrasto no canal principal (Canal de Geba e de Caió) é devolvida à orla no período seco pelas correntes S-SW também ajudadas pelos ventos dominantes nesta estação. As ondas neste período distribuem os sedimentos aportados pelos rios com direção oblíqua de S-SW a N-NE. Na estação húmida a direção do vento é N-NE e não afeta à dinâmica litoral (Fig. 2).

Pode haver também alguma contracorrente, mas vai ser sempre menor em comparação com a principal.

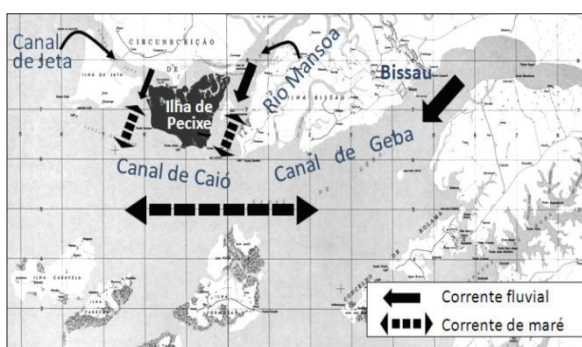


Fig. 2. Localização do litoral de estudo e correntes principais.

### 3.2. Costa sul da ilha de Pecixe

A sua morfologia é de praia de areia em arco, côncava, ou praia de fundo de baía, apoiada a Oeste numa pequena formação de materiais ferruginosos – Ponta Arlete. A Este, os depósitos de areia curvam em gancho para Norte dando lugar a uma costa homogênea de mangal ao longo de todo o Este da ilha.

Uma planície de maré (com baixo pendor, quase plana) de mais de 1 km de largura estende-se para Sul sendo os ilhéus de Cabeceira e dos Pássaros o seu extremos Sul e Este. Esta planície está descoberta em toda a sua extensão na maré baixa.

O troço de costa estudado compõe-se por 2 zonas: dunas Praia de Injante a Oeste e barra litoral a Este. Além disso, são importantes as zonas de mangal e a planície de maré.

O transporte longilitoral de areias tem direção de Oeste para Este. A fonte de areias é o canal de Geba e a frente litoral, especialmente algumas secções da duna. A extensa planície de maré faz de reservatório e depósito intermédio entre o mar e a praia.

A zona de depósito das areias transportadas é a restinga de areia a Este (Fig.3).

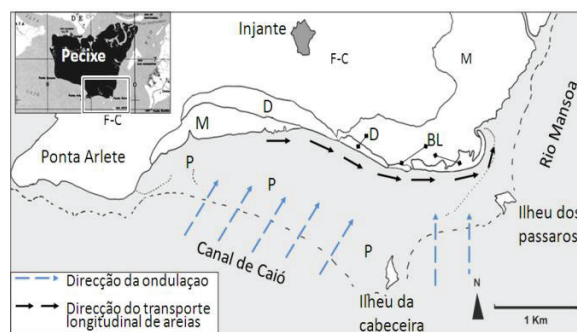


Fig.3. Costa sul da ilha de Pecixe. Direção da ondulação e do transporte longitudinal de areias. F-C : Vegetação natural, plantações de Caju; B: Bolanha; M: Mangal; D: Duna-Praia de Injante; BL: Barra de areia litoral; P: Depósito de areia, planície de maré.

### 3.3. Revisão histórica da zona em estudo

A situação de partida corresponde à cartografia 1:50000 de 1956, feita sobre o vôo aéreo de 1953, (antiga Junta das Missões Geográficas e Investigações de Ultramar, Ministério de Ultramar).

A situação geral da costa em 1953 é similar à atual, com as principais formações do litoral a manterem-se, mas com algumas diferenças, especialmente: i) a presença de apenas uma única abertura do canal de maré ao Norte sobre a restinga -atualmente há duas- e ii) a presença de bolanhas no mangal interior (46 ha aprox.) -atualmente desaparecidas e convertidas em mangal- (*Avicennia germinans*).

Sobre as variações desde 2004 até a atualidade assinala-se que houve retrocesso da frente do talude da duna (Praia de Injante) em 2 metros, valor sustentado pelos estudos e reconhecimento de campo realizado no presente estudo.

Sobre a barra litoral, a linha de praia retrocedeu em toda a sua frente Sul. Este retrocesso terá mais de 20 metros e é evidenciado pela análise e comparação das fotografias aéreas e pela morte de pés de palmeira (Fig. 4 *Elaeis guineensis*) e tamba-cumba (*Neocarya macrophylla*). A margem da restinga de areia aumentou subterrando e afogando os pés de mangal (*Rhizophora mangle*). Das imagens fotográficas e dos dados recolhidos na atualidade é possível reconstruir a evolução da linha da costa da barra litoral é a sua possível evolução futura (Fig. 5 e 6).



Fig. 4 *Elaeis guineensis* mortas na praia da barra litoral



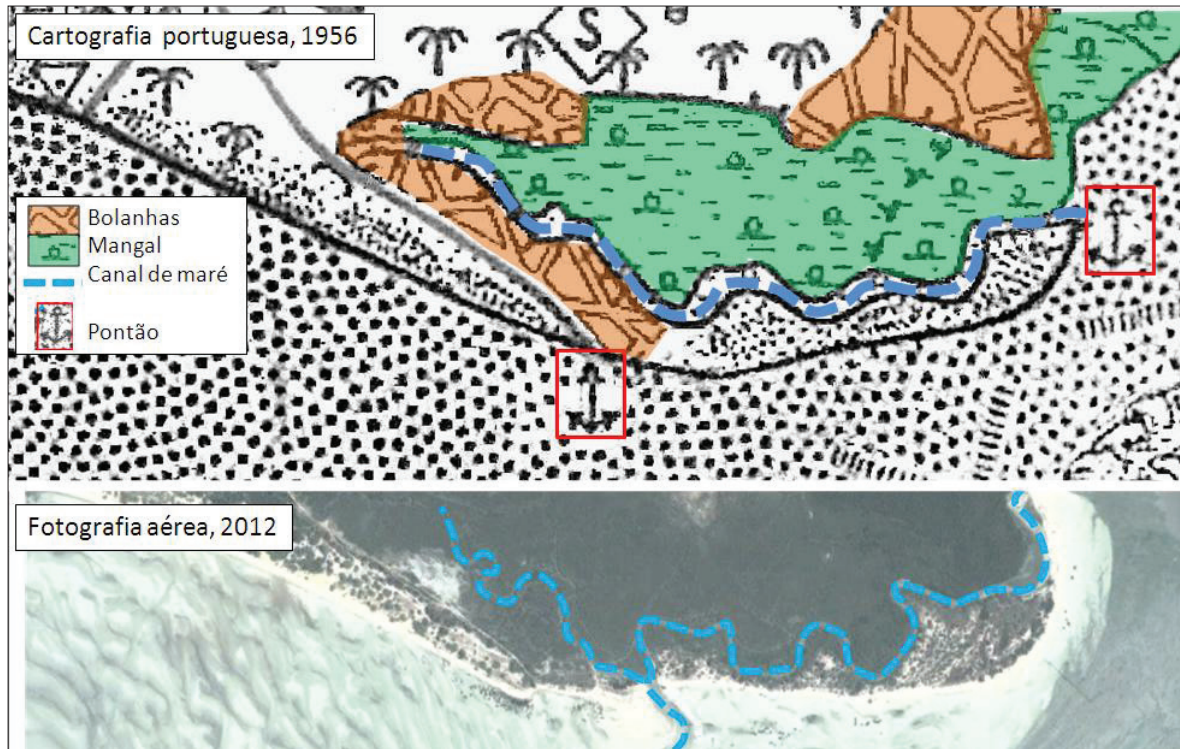


Fig.-5 Variações visíveis entre cartografia de 1956 e fotografia 2012. Em 2012, as bolanhas foram abandonadas e o canal de maré tem duas aberturas: ao Norte (quase fechado em 2014), e uma abertura principal ao sul,

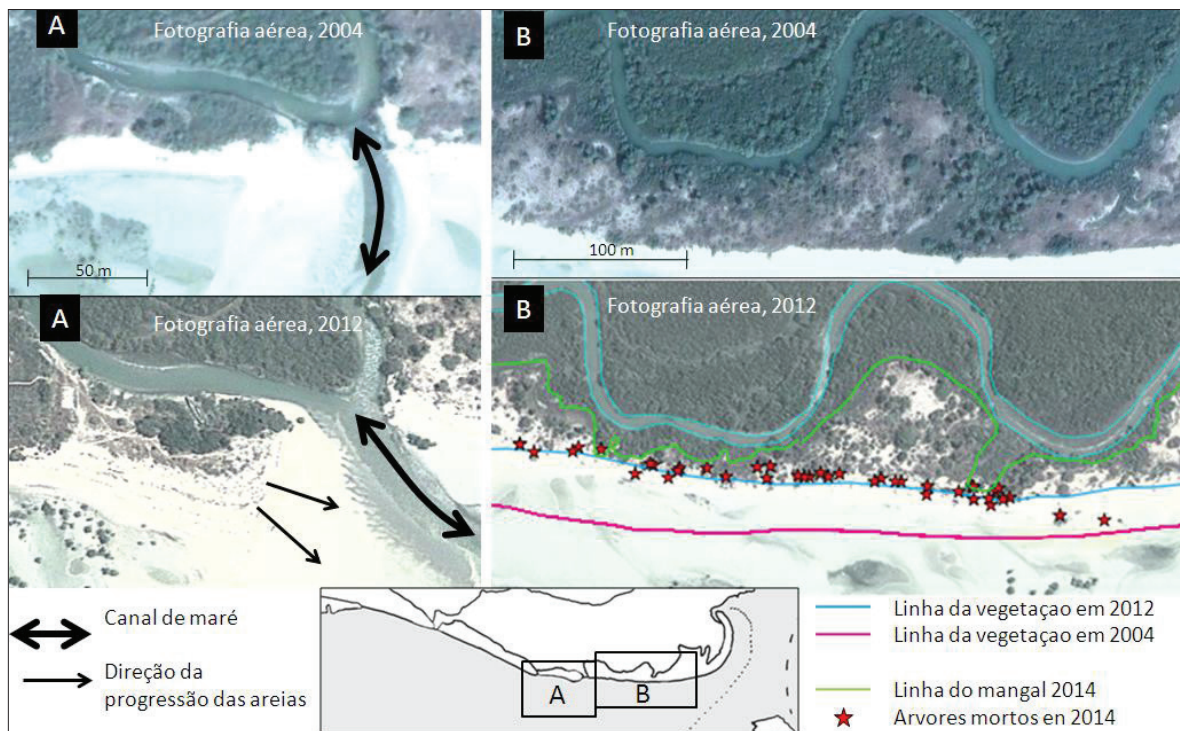


Fig. 6. Variações entre 2004 e 2012. À esquerda o canal novo, não completamente aberto em 2004, é movido pela acumulação de areias ao Este, em 2012. À direita, a linha da vegetação retrocede mais de 20 m. As posições das árvores mortas foram obtidas com GPS na visita de 2014. (imagens da Google Maps, fevereiro 2014)

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho mostra o processo natural, altamente dinâmico, de transporte de areias desde o canal de Geba, com erosão da duna e deposição a Oeste, crescimento da restinga e fecho do canal devido à

deposição de areias e abertura do novo canal. Como consequência produz erosão na barra litoral e deposição na restinga ativa (Fig. 7).

Neste processo dinâmico o novo canal a meio da barra litoral trava o transporte longitudinal,

depositando-se aí grande parte da areia. Estes depósitos de areia progredirão a Este, deslocando e por fim, tamponando a abertura Sul atual. Esta formação de areias progressivas na direção Este será convertida numa nova restinga, suavizando a estrutura atual. Neste processo, relativamente ao canal, a sua abertura principal – única - será novamente aberta a Norte, aproximadamente como representado na cartografia colonial de 1956 (Fig. 5). Ainda que o processo descrito seja natural, a expectativa da população local é de estabilizar as

areias na praia e manter a sua quantidade, eliminando os processos de erosão e arraste ou transporte já referidos ao fim de recuperar as bolanhas perdidas. As medidas devem passar por parar ou desacelerar este processo em toda ou grande parte da praia mas, a solução de proteção costeira não deve opor-se a este processo natural. Isso permitirá manter as áreas de bolanhas sem depender completamente da variação imposta pela dinâmica litoral.

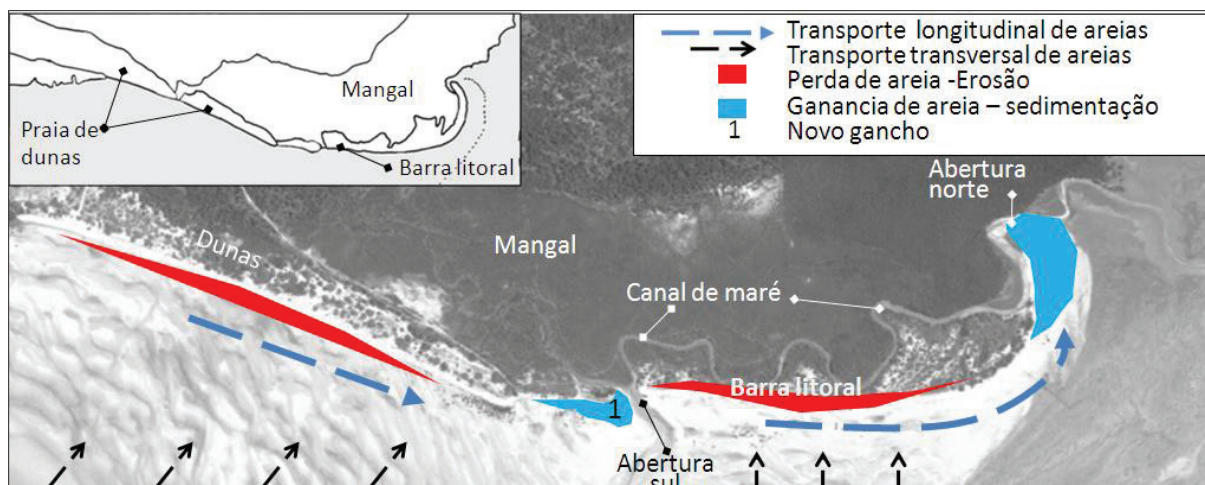


Fig. 7. Esquema de dinâmica litoral da costa sul da ilha de Pecixe. (imagem da Google Maps, fevereiro 2014)

## 5. RESUMO

O litoral está sujeito a importantes variações morfológicas devido ao crescimento e subsequente quebra da restinga. O fornecimento constante de areia para a restinga acaba fechando o canal de maré e, conseqüentemente, uma quebra ocorre em outro ponto intermediário. Esta quebra provoca a formação de uma nova restinga nesse ponto devido ao arrasto constante de areia e, portanto, a perda de areia no trecho de praia seguinte. Isso faz que o manguizal e as bolanhas fiquem inundados sendo um facto de difícil previsão para os camponeses. Os remédios não podem ir contra este fenómeno natural, pois iriam desestabilizar o equilíbrio do arrasto / deposição de areia na praia. Estes devem retardá-lo para que a população possa se antecipar ao fenómeno e minimizar os seus efeitos. Além disso, medidas secundárias, tais como proteções específicas para as bolanhas, poderiam ser implementadas.

## Agradecimentos

**Este estudo foi financiado pela União Européia** (contrato: EuropeAid /127054/ C/ SER/mult).

Ao pessoal da Delegação da União Européia na Guiné Bissau pelo seu apoio e colaboração e à ONG nacional “Plil Alil” pelo seu apoio logístico.

## REFERÊNCIAS

- Cabral, A., e Silva, A. (2005). Initial Guinea-Bissau National Communication on climate changes,
- Cuq, F. (2001). Geographic Information System to Assist the Integrated Management of the Bolama Bijagós Archipelago (Guinea-Bissau). *Géosystèmes- CNRS.IUEM/UBO*. 87 pp.
- Google Maps. Satellite. <http://maps.google.com> fevereiro-março 2014
- Instituto da Biodiversidade e das Áreas Protegidas, IBAP. (2008). Plan de suivi des forets et mangroves de Guinee-Bissau. Plan de suivi, 2008,
- IUCN. (1994). Guinea-Bissau: Coastal Planning. IUCN/MDRA/DGFC. Information Document,
- Lourenço, A., Vaz, C. e Pereira, M. (2002). Guinea-Bissau National Plan of Action for Environmental Management,
- MDRA-DGFC & IUCN. (1993). Coast Planning- Guinea-Bissau – *Technical Report/Renato Maretti C.C. & collaborators, Bissau*, 118 p.
- Simão da Silva. A. e Rachid Said, A. (1998) Contribution to the preparation of a Strategy and National Plan of Action on Biodiversity. DGA/UNDP. Bissau,

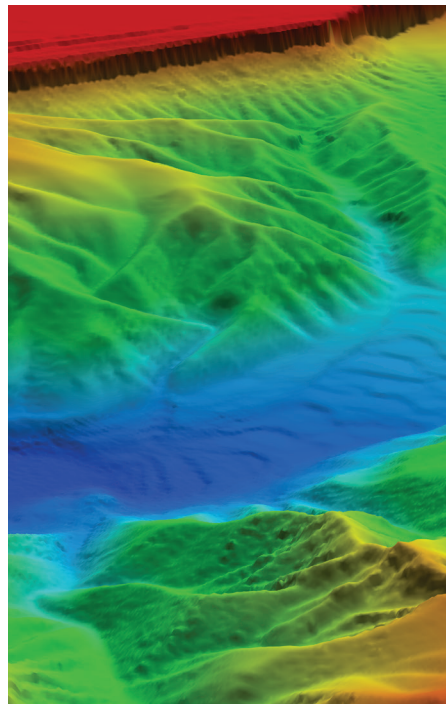


# OCEANOGRAFIA OPERACIONAL

---

3.<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica  
Lisboa, 24, 25 e 26 de junho de 2014

---







# Advanced Ship Detection Software for Maritime Surveillance

A. Radius <sup>(1)</sup>, J. Ferreira <sup>(1)</sup>, P. Carmo <sup>(1)</sup> and P. Marques <sup>(2)</sup>

(1) EDISOFT, [andrea.radius@edisoft.pt](mailto:andrea.radius@edisoft.pt)

(2) ISEL-IT

**Abstract:** The increase of maritime traffic requires monitoring at a global scale for marine environment management in terms of safety, security and fisheries. The satellite monitoring appears as an optimal solution for monitoring in open seas, and the synergy between the Synthetic Aperture Radar (SAR) and collaborative data, as Automatic Identification System (AIS), provides high informative content. The growing need of global maritime awareness gave a push to the realization of different European projects, each one focused on a different particular objective. Particularly useful is the synergy between the operational and research aspects, with the aim to improve the state of the art in the field of ship detection. The key to strive this synergy is represented by the project MARitime Security Service (MARISS), which implements the operational capability, and the R&D Dolphin and Seabilla projects, which are focused on the deep exploitation of remote sensing data for ship detection purposes. The proposed paper presents the algorithms implemented by EDISOFT in cooperation with IT for ship detection and data simulation. The future prospect of moving the SAR sensor to an airborne platform like an Unmanned Aerial System (UAS), and the operational value added due to this change, shall be discussed.

**Key words:** SAR, Ship Detection, Ship Classification, Data Simulation.

## 1. INTRODUCTION

The SAR is a very important tool in ocean surveillance, particularly in ship detection, in which the SAR is especially fit for its intrinsic capability in commercial, surveillance and strategic context.

After several years since the launch of operative projects for ship detection purposes, as MARISS, the SAR data informative content was exploited and many algorithms were proposed in the context of R&D projects.

Currently, the key maritime surveillance requirements are more stringent than in the past: in fact, the entities responsible for the surveillance require:

- capability to detect small and fast boats;
- capability to track the ships in open seas;
- capability to characterize the ships in terms of geographical position, size, velocity and ship class;
- capability to discriminate potential illegal activities through anomalous behaviour analysis;
- multi-temporal analysis capability to detect potential illegal activities due to the fact that in a single image is not possible to detect any suspected target.

In consideration of the aforementioned requirements, the EDISOFT VDC (Vessel Detector and Correlator) software was implemented by integrating different useful tools for maritime monitoring, exploiting all the SAR data types and the processing algorithms (Radius *et al.*, 2013).

Particularly, the VDC software is structured in different functional blocks:

1. Ship detection;

2. Ship classification;

3. Suspect target detection through correlation between ships and AIS signal;

4. SAR data simulation of ships.

The proposed modules are integrated in the same platform, allowing the synergy between detection techniques and data simulation, with the purpose of algorithm testing and validation and of simulated scenario's building: this validation was essential for the success of the high level border surveillance and maritime activities architecture validation in the context of the Seabilla project.

This paper is organized as follows.

In section 2 the VDC software is introduced with its working scheme. In section 3 the ship detection algorithms are presented, considering the techniques applied on multilook data and on SLC (Single Look Complex) data.

Section 4 is dedicated to the implemented SAR data simulator, which is fully integrated on the software. In section 5 the auxiliary tools are shown, and in particular the data correlator for abnormal behaviour detection and the report generation.

Finally, the conclusions and the future work are described in section 6.

## 2. VDC SOFTWARE ARCHITECTURE

The VDC software is divided into five processing modules, as shown in fig. 1:

1. Data import;
2. Detection;
3. Sub-Aperture Processing;
4. Data Simulation;
5. Auxiliary Tools.

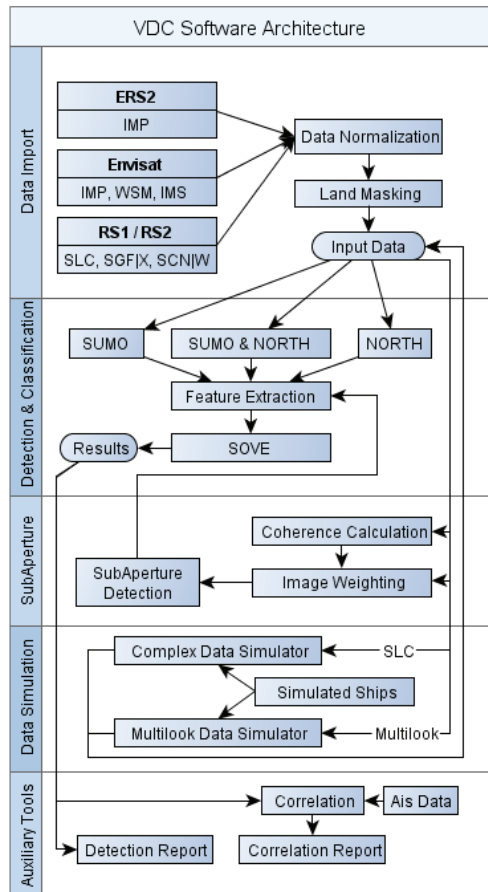


Fig. 1. VDC software architecture.

### 2.1. Data import

This module is responsible for reading SAR data and relative metadata. It can read data from ERS2, Envisat, RS1 and RS2 satellites. After reading the image data and the metadata a land mask is computed and applied based on external coastline information.

### 2.2. Detection on multilook images

This module is responsible for running the vessel detection algorithms on multilook images. There are two ship detection algorithms that can be applied alone or together for a more robust detection. Features are extracted from the resulting detections and a ship velocity estimation algorithm, based on the distance from the ship to its wake, is applied.

### 2.3. Detection on SLC: Sub-Aperture Processing

This module is responsible for running the vessel detection and classification algorithms on complex images. It can be applied on a single tile for evaluation purposes or for the entire image.

### 2.4. Data Simulation

This module is responsible for generating simulated data of moving ships for demonstration purposes or algorithm performance evaluation.

### 2.5. Auxiliary Tools

The module consists in a group of operations such as loading and presenting AIS data in the SAR image; correlation between detections and AIS data; report and kmz generation.

## 3. SHIP DETECTION

Most of the ship detection algorithms applied on an operative base use L1B data (multilook data), that provides only the amplitude information (Crisp, 2004). The amplitude data provide information about the ship backscattering integrated during the synthetic aperture generation.

In the open literature, very few algorithms work on complex SLC data (L1A data), some of them using the coherence concept for increasing the detection probability.

The VDC software implements three different algorithms.

The first algorithm used for ship detection is called SUMO (Search for Maritime Unidentified Objects) and works on multilook data (Schwartz *et al.*, 2002).

The SUMO algorithm is based on the knowledge of the compressed IRF (Impulse Response Function) of a target, which is represented by a bidimensional sinc function (Cumming and Wong, 2005); it uses a three-threshold brightness window to find all the pixels that approximately have a 2D-sinc structure.

The second algorithm also works on multilook data, and is called NORTH (NORmalized THreshold): it is a simple in-house developed algorithm, based on the normalization of the data in range direction (Radius *et al.*, 2013).

The third ship detection algorithm works on SLC data and has the objective to overpass the limitations common to algorithms based on multilook data. In fact, if the amplitude information provides the ship backscattering generated during the synthetic aperture, it does not provide any information about the temporal behaviour of the interaction between transmitted pulses and target, depending on the aspect angle and the sea clutter.

The algorithm implements an advanced ship detection technique, based on the sub-aperture processing, developed in the scope of the Dolphin project by EDISOFT and ISEL-IT (Radius *et al.*, 2013).

The main purpose of the algorithm is the ship detection improvement, increasing the performance in case of small boats and complex meteorological conditions.

The implemented algorithm is based on the behaviour difference between the incoherent sea (observed as surface in continuous motion) and the coherent ship: in the sea surface the backscattering coefficient varies during the integration time, characterizing its incoherence, while the backscattering coefficient change of the ship is relative slow. The algo-

rhythm generates a combination between partially overlapped sub-apertures, which increases the Signal to Clutter Ratio (SCR) decreasing the sea clutter.

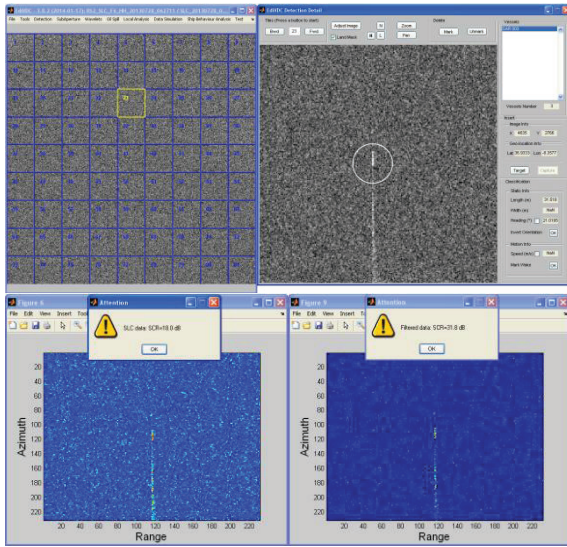


Fig. 2. VDC: improvements of the sub-aperture filtering algorithm: the original SCR of 18 dB is increased to 31.8 dB.

For each detected target the VDC software calculates its velocity, if the conditions are suitable.

As shown in fig. 1, in multilook images the SOVE algorithm is used (Radius and Marques, 2008). The algorithm uses the ship orientation and the Radon transform to detect the wake and to calculate the shift between moving target and wake, generated by the well known Doppler shift effect; the velocity is estimated by the calculated shift and the ship orientation.

For SLC images, a new algorithm is under analysis for the velocity estimation through the use of Doppler rate filters and a dedicated Doppler spectrum analysis. The algorithm integration on the VDC software will occur in the near future.

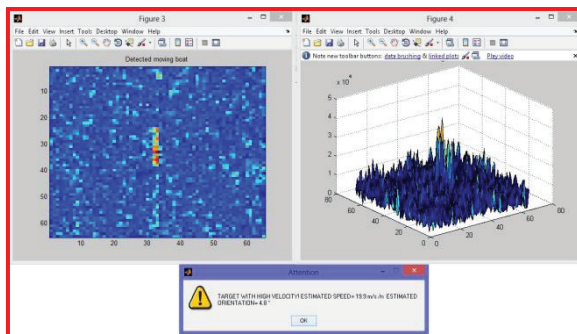


Fig. 3. VDC: example of ship velocity estimation (experimental algorithm).

#### 4. DATA SIMULATION

The simulator integrated on the VDC software is able to insert synthetic signatures of moving ships in

the image, simulating the acquisition of the target directly from the radar. The simulator works on SLC images, performs the bidimensional defocusing to obtain the raw data and inserts the raw data of the desired moving ships (Radius *et al.*, 2013). An example of simulation is shown in fig. 4.

The main purpose of the simulated data is to complement the real data for algorithm development and demonstration building, maximizing the understanding of the SAR data informative content.

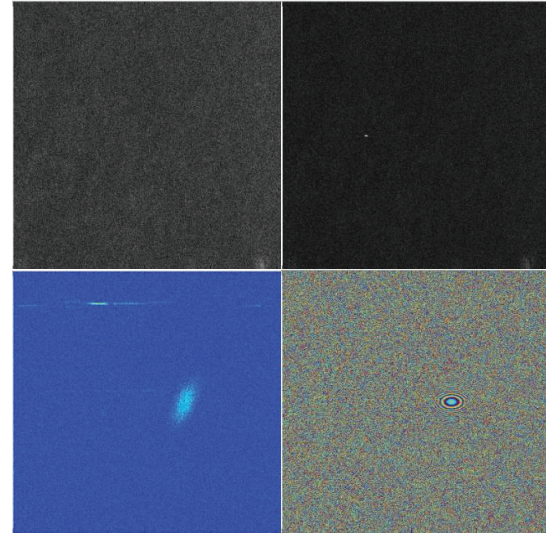


Fig. 4. Example of ship data insertion in SLC data. Starting from top-left in clockwise: 1) Original image; 2) Image with the simulated ship after the refocusing; 3) Phase image with the inserted ship raw data; 4) Amplitude image with the inserted ship raw data.

#### 5. AUXILIARY TOOLS

The auxiliary tools increase the VDC software added value by allowing the correlation of ship detections with cooperative data (AIS) and generating user understandable reports in kmz format.

##### 5.1. Data Correlation

The vessels detected by the VDC software are correlated with AIS data. The first step of this correlation is to determine the vessels AIS position at the time when the SAR image was captured. Because the AIS position reports periodicity might be degraded, this step requires interpolation or forward/backward tracking of the AIS position reports. Although linear interpolation is used for the AIS speed and heading, this is not enough for the geographic position (latitude/longitude) so spline interpolation is used. Minimum distance one-to-one correlation is then performed between the vessel detections and the interpolated AIS position reports.



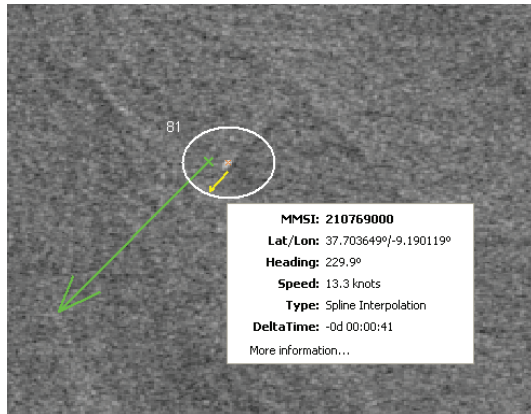


Fig. 5. Correlated detection (AIS data: green arrow and text box, SAR data: white circle, yellow arrow)

### 5.2. Report Generation

After correlation, the outputs are divided in 3 categories:

- correlated** when there's a matching between a vessel detection and a AIS position report;
- undetected** when an AIS position report doesn't have a corresponding vessel detection;
- suspect** when a vessel detection doesn't have a corresponding AIS position report.

While undetected objects are usually caused by small vessels that transmit AIS, hence are hardly detected in a SAR image, suspect objects are usually caused by shadow regions in AIS coverage or vessels that are not transmitting AIS.

The main output of the correlation process is a report in kmz format, organized by SAR and AIS data and their classification as correlated or not.

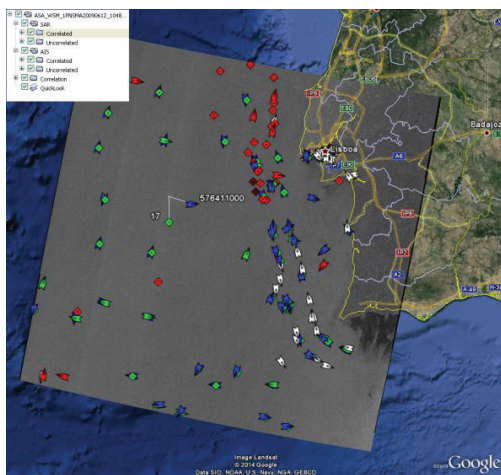


Fig. 6. Kmz Correlation Report

## 6. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

The presented VDC software is a multi-purpose tool for ship detection and abnormal behaviour detection.

It was developed by Edisoft integrating the new algorithms developed in the scope of the projects MARISS, Dolphin (in collaboration with ISEL-IT) and Seabilla, with the aim to realize a very useful tool in maritime surveillance for working in operational context.

Some activities are foreseen in the near future for validation and integration purposes; in particular, the following activities are planned.

- Integration of new SAR systems ingestion, as Sentinel-1.
- Validation of the implemented algorithms used in operational projects.
- Integration of the algorithm for velocity estimation from SLC data through data spectrum analysis.
- Implementation of classification algorithms from multilook data and from SLC data.
- Implementation of more realistic simulation, considering non-linear velocity, complex backscattering models and ship representation as more complex object.
- Adaptation of the developed algorithms for using onboard of Unmanned Aerial System (UAS), with the purpose of an operational use in local contexts.

## REFERENCES

- A.Radius, J.Ferreira, P.Carmo, P.Marques (2013). Advanced Ship Detection for Spaceborne based Maritime Awareness. *European Space Agency Living Planet Symposium*, Edinburgh, 9-13 Sept.
- D.J.Crisp (2004). The state-of-the-art in ship detection in Synthetic Aperture Radar Imagery. *DSTO-RR-0272, Defence Science and Technology Organisation*, Edinburgh, Australia.
- G.Schwartz, M.Alvarez, A. Varfis, N.Kourti (2002). Elimination Of False Positives In Vessels Detection And Identification By Remote Sensing. *Proceedings of the IEEE Int. Geoscience Remote Sensing Symposium, IGARSS*, Vol.1, pp.116-118, 24-28 June.
- A.Radius, P.Marques (2008). A Novel Methodology for Full Velocity Estimation of Ships Using SAR Data. *Proceedings of the 7th European Conference on Synthetic Aperture Radar, EUSAR '08*, 02-05 June.
- Cumming, I.G., Wong, F.H. (2005). *Digital Signal Processing of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithms and Implementation*. Artech House.

# Advanced Satellite-based Oil Spill Detection

A. Radius <sup>(1)</sup>, R. Azevedo <sup>(1)</sup>, D. Rego <sup>(1)</sup> and P. Carmo <sup>(1)</sup>

(1) EDISOFT, Rual Calvet Magalhães, Paço de Arcos, 2770-153, Portugal, [andrea.radius@edisoft.pt](mailto:andrea.radius@edisoft.pt)

**Abstract:** Ocean health is crucial for the Earth's well being, because it is an eco-system with major responsibility for climate, coastal erosion, among others. Pollution monitoring became an essential tool to preserve its health and a very important challenge in terms of natural environment preservation. This is stressed by many European (and not only) projects aimed to marine preservation.

The achievements that will be described in this paper were possible by the participation of EDISOFT in different operational and R&D projects that contributed to a very comprehensive understanding of the problem. In fact, the synergy between these different objectives (R&D versus operational) allowed EDISOFT to develop oil spill detection techniques, that combine the operational automatic aspect with new detection, classification and filtering algorithms.

The presented paper shows the current oil spill monitoring development of EDISOFT, with reference to the projects in which it is involved, as SeaU, Automatic Oil Spill Detection and CleanSeaNet.

**Key words:** Oil spill detection, SAR, Pollution monitoring.

## 1. INTRODUCTION

The increasing pollution occurrence and the alarming deterioration of the environmental health conditions of the sea, lead to the need of global monitoring capabilities, namely for marine environment management in terms of oil spill detection and indication of the suspected polluter.

The sensitivity of Synthetic Aperture Radar (SAR) is a very useful instrument to monitor the maritime pollution due to the presence of hydrocarbons; moreover, the capability of the SAR to operate in any lightness and meteorological conditions makes it a key instrument for global pollution monitoring.

The SAR sensitivity to the oil spills is due to the physical interaction between oil and marine surface; in fact, the oil spill in the sea causes a strong resonance-type wave damping in the short-gravity-wave region, generating an attenuation of the gravito-capillares waves and a variation of the marine roughness (Alpers, 1989). In presence of wind, the oil spill is seen as a dark patch in the SAR image.

The SAR performances in maritime pollution monitoring are being operationally explored by a set of service providers on behalf of the European Maritime Safety Agency (EMSA), which has launched in 2007 the CleanSeaNet (CSN) project - a pan-European satellite based oil monitoring service. EDISOFT, which is from the beginning a service provider for CSN, is continuously investing in R&D activities that will ultimately lead to better algorithms and better performance on oil spill detection from SAR imagery. This strategy is being pursued through EDISOFT participation in the FP7 EC Sea-U project and in the Automatic Oil Slick Detection (AOSD) ESA project.

The Sea-U project has the aim to improve the current state of oil spill detection algorithms, through the data fusion with all the available information, the exploitation of different type of

data/ sensors and the development of advanced image processing, segmentation and classification techniques.

The AOSD project is focused to provide an operational service, because its main purpose is the automation of the oil spill detection/classification processing chain, integrating auxiliary data, like wind information, together with image and geometry analysis techniques.

The synergy between these different objectives (R&D versus operational) allowed EDISOFT to develop oil spill detection software, that combines the operational automatic aspect, obtained through dedicated integration of the processing chain in the existing open source Next ESA SAR Toolbox (NEST) software, with new detection and classification algorithms.

In this work we present the functionalities of the developed software and the main results in support of the developed algorithm validity.

This paper is organized as follows:

In section 2 the automatic oil slick detection algorithm is explained, detailing the different phases, while section 3 shows the preliminary results. Section 4 is dedicated to the results from operative activity in the context of the CleanSeaNet project.

Finally, the conclusions and the future work are described in section 5.

## 2. AUTOMATIC OIL SLICK DETECTION ALGORITHM

The AOSD is a fully automated system that detects oil slicks in SAR imagery, delivering the results in the EMSA standard format, as well as in the Esri shapefile and Google KMZ formats. It was developed to benefit from and following the NEST

model potentiality, together with external python scripts that form the chain in which is integrated.

The AOSD system provides two different and independent chains: the production chain, which is the chain capable of operationally detecting oil spills in SAR imagery, and the validation chain, which provides features to allow the validation of the automatic detection of oil spills.

The developed AOSD algorithm is logically divided in two main phases: the detection and the classification (Radius *et al.*, 2013).

The detection includes all the steps to detect the dark structures present on the scene and their features; the classification has the purpose to discriminate the right pollution from other phenomena. In fact, the radar backscatter values from oil spills are very similar to backscatter values from very calm sea areas and other ocean phenomena known as "look-alikes" (e.g. currents, eddies); the classification has the difficult task to discriminate the oil spills discarding all the other dark objects.

The detection phase is divided in 9 blocks, from the data ingestion to the dark structure characterization; the last block performed the functionality of the classification phase.

The algorithm architecture is shown in Fig. 1.

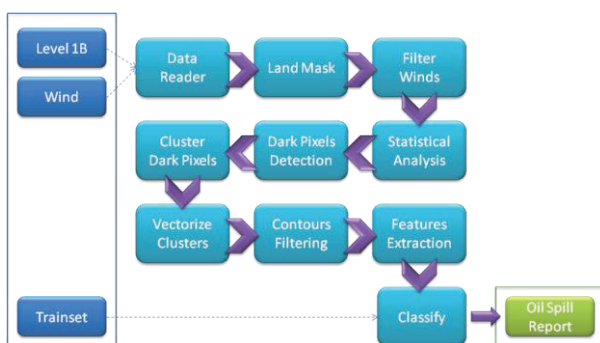


Fig. 1. AOSD architecture

### 2.1. Data reader

This block is responsible for reading SAR data level 1b and the corresponding wind values file extracted by the scene. Currently, it is possible to ingest data from Envisat and Radarsat 1/2.

### 2.2. Land mask

The analysis is performed exclusively considering sea pixels; land pixels are excluded from it and this is the module where those pixels are masked.

### 2.3. Filter wind

If the SAR wind file of the image is available, lower and higher wind limits are defined and the pixels which are outside the interval are filtered to avoid many false alarms due to low wind and a wrong statistical analysis due to high wind which saturates the pixel values.

### 2.4. Statistical analysis

This block is responsible for extracting statistical parameters from a tile in order to establish an adaptive threshold value for the detection.

### 2.5. Dark Pixels Detection

The module where occurs the detection of pixels which have a lower intensity value than the calculated threshold; they are taken as suspected candidates and passed to the next block.

### 2.6. Cluster Dark Pixels

Gets the candidate pixels and organizes them in independent structures; the pixels that are compliant with a given neighbourhood distance are aggregated into clusters.

### 2.7. Vectorize Clusters

The module responsible to perform the Spatial correlation between detected pixels, having the main purpose of grouping and clustering the detected pixels for the definition of shapes, excluding single detections and small clusters; other clusters that can be represented by polygons are here transformed in vector shapes.

### 2.8. Contours Filtering

This block filters the vector data, excluding the contours that are primarily suspected of not being an oil spill. Therefore, contours are analysed considering different approaches:

1. Once more, in terms of invalid wind area closeness, in order to eliminate dark patterns that are simply residual portions of the previous winds filtering operation.
2. Some contours might not form a simple polygon and, with their associated ambiguity, can compromise the pending operations if submitted. These cases are considered invalid and excluded.
3. Some others are not compliant with the defined input minimum size and it would be advisable to discard them. However, they can still be considered as an option and filtered if located near a feature of interest, where the neighbourhood distance is defined by input parameter. If so, the contours are aggregated to form a cluster, similarly to the clustering operation of pixels, except, this time, it will be formed as a cluster of contours.

### 2.9. Features extraction

A module where lies the task of extracting features of interest from each detected dark structure filtered by the previous blocks.

The analyzed features are:

1. Complexity, obtained with area (A) and perimeter (P):  $C = P^2/A$
2. Linearity, obtained with length (L) and width (W):  $L_n = L/W$ ;



3. Density;
4. Contrast;
5. Gradient;
6. Wind, focused to the surroundings;
7. Oil spill orientation.

### 2.10. Classification

The classification is the crucial part of the algorithm. The most famous classifiers are Support Vector Machines (SVM) and Neural Network (Topouzelis, 2008).

The selected classifier performs the classification of each detected cluster using Support Vector Machines algorithmic capabilities and a previously assembled train dataset. It is here where the decisions are taken and where it will define the algorithm detection quality.

The classifier implements two levels of classification, as shown in Fig. 2. The first level is performed by the aforementioned classifier based on SVM; the second level of classification is executed, only meant for the detections classified as Spill, where the goal is to characterize the oil spill according to its attributes. This level of classification benefits from the features extracted during the previous module and will decide according to the value of each feature.

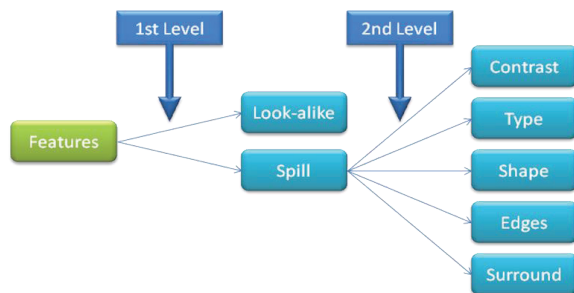


Fig. 2. Classification structure.

### 3. PRELIMINARY RESULTS

Having a prime goal in efficiency when detecting suspected patterns (Fig. 3 example) and considering the scenes diversity where oil slicks happen, lead to the need of extending the validation process to different scenarios. This need provided means to better analyse and, consequently, state the algorithm results.

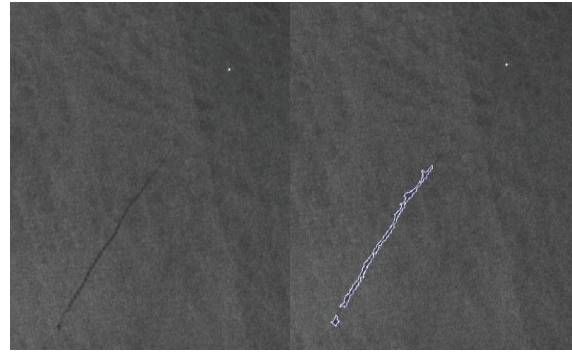


Fig. 3. On-going oil spill detected by the AOSD

To validate the AOSD, a dataset was prepared based on EMSA's CSN archive (first and second generations). A total of 78 ENVISAT scenes were randomly selected and they are a representation of several years of service, where the classification criteria changed slightly during that time. Tab. 1 summarizes the results.

AOSD	Lookalike	Low	Medium	High	Total
Success	18585	76	71	41	18773
Fails	3003	56	58	30	3147
Rating	86%	58%	55%	58%	
<b>Overall Performance</b>					<b>86%</b>

Tab. 1. AOSD performance

### 4. RESULTS FROM OPERATIVE ACTIVITY

Prior to the launch of CSN in 2007, the use of satellite images for pollution detection and identification of polluters was limited. Four years later, 72 authorised users in 24 coastal States are using the service for pollution monitoring operations.

Key figures (16 April 2007 - 31 January 2011), comprising all EU member states:

- Over 8,000 satellite images have been delivered, an average of over 2,000 images per year;
- Over 1,000 million km<sup>2</sup> were monitored;
- 8,866 possible spills were detected and reported by CSN;
- On average, the trend is a global reduction in the number of possible spills detected in the images: from 1.38 possible spills identified per image in 2008 to 1.0 in 2009 and to 0.75 in 2010;
- 2,828 satellite detections were checked on site of which 745 were confirmed as mineral oil or other substance;
- 50% of spills checked by aircraft within 3 hours of satellite acquisition were confirmed;
- Of the confirmed spills, 80% were mineral oil and 20% were other substances;



Fig. 4 shows the results obtained from the CSN project in the years 2007-2011 for the Portuguese area (EMSA, 2011).

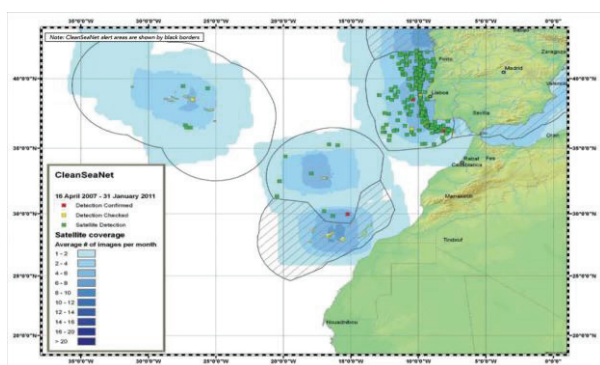


Fig. 4. Results of oil spill detection in 2007-2011 (EMSA site)

## 5. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

The numbers shown confirm a growing necessity in having efficient tools to detect oil spills faster, as well as providing high quality reports, possible to be used during and after a suspected occurrence. This can only happen having the aid of automated tools, which can capably respond to the tendency of delivering more information, extra coverage, in less time.

Upcoming challenges continue to support this tendency and Sentinel-1 data availability will apply greater pressure to the algorithms, to process even more information, while providing answer to the needs.

In this sense, the presented oil slick detection and classification system, fully integrated in NEST software, developed by Edisoft in the context of the projects Sea-U, AOSD and CSN, provided encouraging preliminary results, giving confidence to be part of the CSN processing chain, as well as showing the algorithm potentialities to face the future challenges.

Some activities are foreseen in the next future for validation and integration purposes; in particular, the following activities are planned:

1. Integrate the AOSD algorithm within the EMSA CSN service chain;
2. Ensure AOSD algorithm Sentinel-1, TerraSAR-X and COSMO-SkyMed SAR data products processing;
3. Enhance the AOSD algorithm implementation;
4. Incorporate additional layers of information, such as SAR detected vessels and AIS positions;
5. Develop specific algorithms to determine the oil spill age;
6. Enhance the classification capability.

## REFERENCES

- A.Radius, J.Ferreira, P.Carmo, P.Marques (2013). Advanced Ship Detection for Spaceborne based Maritime Awareness. *European Space Agency Living Planet Symposium*, Edinburgh, 9-13 Sept.
- A.Radius, R.Azevedo, T.Sapage, P.Carmo (2013). Advanced Oil Spill Detection Algorithms for Satellite Based Maritime Environment Monitoring. *European Space Agency Living Planet Symposium*, Edinburgh, 9-13 Sept.
- W.Alpers (1989). The damping of ocean waves by surface films: a new look at an old problem. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 94, No. C5, pp. 6251-6265, 15 May.
- K.N.Topouzelis (2008). Oil Spill Detection by SAR Images: Dark Formation Detection, Feature Extraction and Classification Algorithms. *Sensors 2008*, 8, pp.6642-6659.
- EMSA (2011). Report on CleanSeaNet First Generation. <http://www.emsa.europa.eu/operations/cleanseanet/download/1516/1309/23.html>.

# GNSS-Reflectometry and its application on Oceanography

R. Castro<sup>(1)</sup>, T. Peres<sup>(1)</sup>, J. Carola<sup>(1)</sup>, J. Silva<sup>(1)</sup>, J. Bandeiras<sup>(1)</sup>, P. F. Silva<sup>(1)</sup> e N. Catarino<sup>(1)</sup>

(1) DEIMOS Engenharia. [rita.castro@deimos.com.pt](mailto:rita.castro@deimos.com.pt)

**Abstract:** One of the remote sensing techniques that has been widely used in Oceanography is altimetry derived from data acquired with Jason 1 and 2 satellites or the TOPEX/Poseidon, using radar signals to derive the mean sea height.

The signals from Global Navigation Satellite Systems (GNSS) (such as Global Positioning Satellites (GPS) and Galileo) provide global coverage and were specifically designed to measure distances, making them good candidates for scientific usage. The usage of GPS signals and their reflections to derive oceanographic altimetric data has been proposed in 1992 – this technique has been named GNSS Reflectometry (GNSS-R).

In order to exploit the potential of Galileo signals DEIMOS Engenharia is developing a GNSS-R instrument where the main goal is to determine the sea surface height of rivers, coastal waters or dams.

This paper presents the results obtained in tests conducted at Padrão dos Descobrimentos within the scope of the SARGO (System of Acquisition of Reflected GNSS signals for Oceanography) project, funded by QREN (*Quadro de Referência Estratégica Nacional*).

**Key words:** Altimetry, Oceanography, GNSS, Galileo, GPS, Instrumentation, Remote Sensing

## 1. INTRODUCTION

The GNSS-Reflectometry has been introduced to the science community more than two decades ago in (Martin Neira et al. 1992), where it has been shown that the GNSS signals of the available GPS satellites could be used as opportunistic signals to derive quantities others than the original ones they were designed for (position determination, among others). GNSS-R applications explore the usually undesired GNSS multipath to obtain several geophysical measurements, such as ocean altimetry. The concept behind GNSS-R is the same as the one behind bi-static radar where the receiver and the transmitter are at different locations and in the case of GNSS-R, the role of the transmitter is played by the GNSS satellites and the receiver is the GNSS instrument.

### 1.1. Geometrical Problem

Conventional GNSS-R instruments cross-correlate the received signal with a local replica of itself, covering different delays ( $\tau$ ) and Doppler shifts, to generate what is usually referred to as waveforms.

The figure below shows the geometry of a GNSS-R reflection for a ground based instrument.

The GNSS-R instrument collects two signals – the one that comes directly from the GNSS satellite and the one that is reflected on the specular point on the Earth's surface. This location on the Earth's surface is defined as the point that minimizes the distance from the GNSS satellite, the Earth's surface and the GNSS Instrument position.

Considering the geometry defined by the position of the GNSS instrument,  $X_{Rx}$  and the position of the GNSS satellite,  $X_{Sat}$ , it is possible to determine the position of the specular point of reflection as well as the elevation angle of the satellite,  $\theta$ .

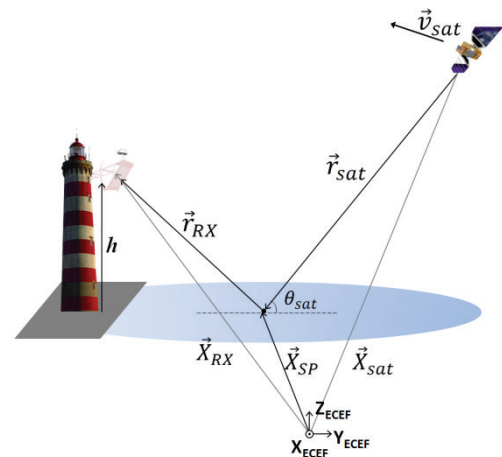


Fig. 1. Geometry for Reflectometry with GNSS Signals.

For the same geometry, the delay between the reflected and direct waveforms, defined as  $\Delta\rho = \rho_{reflected} - \rho_{direct}$ , is directly linked to the real position of the specular point

In the case of a ground based receiver the height of the receiver can be expressed in a different reference frame as  $H_{Sea}^{ref} = H_{Rx}^{ref} - h$ .

### 1.2. Instrument and Signal Processing Considerations

The waveforms generated by the GNSS-R instrument will be used to obtain pseudo-range measurements that can be expressed as

, where is the cumulative term for all the hardware errors introduced in the system, . In order to correctly compute the pseudo ranges it is necessary estimate the hardware errors. For more information

about GNSS signal processing please refer to (Peres et al. 2013).

**2. TESTING THE SARGO SYSTEM**

The SARGO System is the GNSS-R instrument being developed at DEIMOS Engenharia since 2013. It comprises a GNSS-R Receiver and the Data Processors. For further information about the SARGO System, please refer to (Peres et al., 2013).

In order to estimate the term that affects the measurements, a calibration method has been designed and implemented in the SARGO System. The calibration uses a Radio Frequency Switch (RFS) to change the electrical path travelled by the signals within the GNSS-R Instrument. By doing it so, there will be two different signals delays which are affected symmetrically by the hardware bias. Fig. 2 shows a high level view of the GNSS-R Instrument. The following configurations have been established:

- *Default Configuration:* when the RF Switch is switched OFF. In this case, the signal from the RHCP antenna travels through Cables #1, #2 and #5 and the signal from LHCP antenna travels through Cable #4 and #6.
- *Inverted Configuration:* when the RF Switch is switched ON. In this case, the signal from the RHCP antenna travels through Cables #1, #2 and #6 and the signal from LHCP antenna travels through Cable #4 and #5.

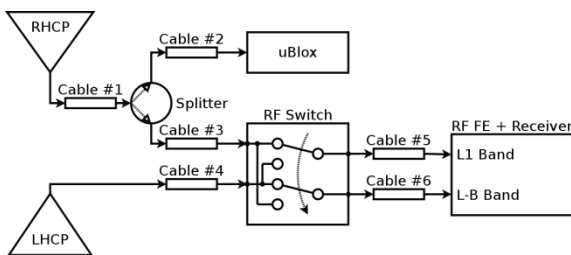


Fig. 2. Block diagram for the setup used in the SARGO Instrument

The delay observed for waveforms acquired in the different configurations is given by:

Knowing that the hardware biases are equal, it follows that

In 2014-03-17 a field test was conducted on the belvedere of Padrão dos Descobrimentos, in Lisbon.

The main objectives of this campaign were: 1) to test the calibration strategy described above and 2) to

test the pipeline for the data processing in the SARGO System.

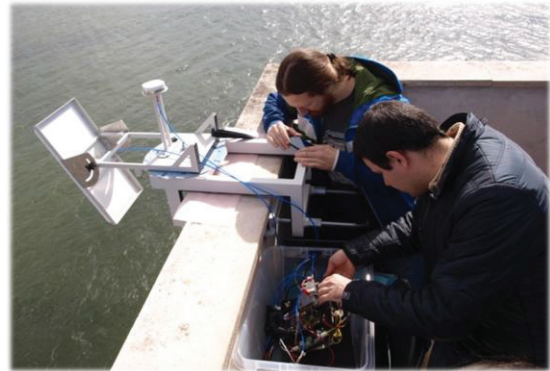


Fig. 3. SARGO Team setting up the instrument at Padrão dos Descobrimentos

**2.1. Test Setup**

Fig. 2 shows the high level view of the SARGO GNSS-R Instrument used in the test campaign, consisting of:

- two antennas: a right hand circular polarized (RHCP) hemispherical antenna, for the reception of the direct signal from the GNSS satellites (the uplooking antenna) and a left hand circularly polarized (LHCP) high gain directive antenna, for the reception of the reflected signal (the downlooking antenna);
- a Radio Frequency (RF) splitter is used to split the RHCP outputs into two outputs;
- a commercial GPS receiver (u-blox’s LEA-5T), which provides the navigation solution for the GNSS Instrument;
- a RF Switch is used to swap the RF chains, in order to calibrate the hardware delays (as it was previously explained).
- dual input RF Front-End (RF-FE) able to receive, down-convert, and digitize GNSS signals, to provide intermediate frequency (or baseband) digital signal samples and clock to the baseband receiver (the configuration is showed in Table I);
- the baseband receiver, which processes Galileo signals and is in charge of generating the auto-correlation functions used by the SARGO Data processor.

Table I. RF FE configuration used in the tests.

fs [MHz]		26
Direct path (max2769)	Band	E1
	IF [MHz]	4
	B [MHz]	8
Reflected path (max2112)	Band	E1
	IF [MHz]	0
	B [MHz]	12

The test procedure was divided into two steps: Data Acquisition and Data Processing.

In the Data Acquisition step, the LHCP antenna was pointed towards the expected specular reflection point and the RHCP antenna was pointed towards the sky; then using the outputs of the RF FE, the receiver was used to generate the Cross Correlation Functions (CCFs) of the incoming signals (both direct and reflected signals).

The timeline for acquiring calibration data is shown in Fig. 4, where  $t_f$  has been selected as 8 min.

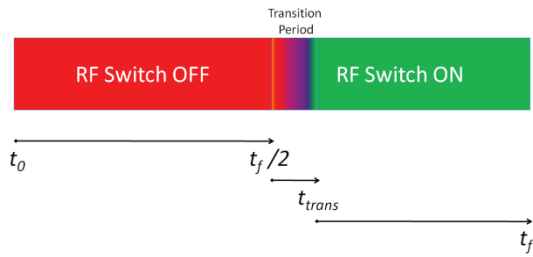


Fig. 4. Timeline for acquisition of calibration data

The data acquired with this timeline is tagged as CAL-### and their analysis should permit to assess on the stability of the calibration coefficient

When the objective of the data is to extract altimetric measurements, the timeline used for data acquisition is represented in Fig. 5. with the RFS-CAL periods lasting 30 seconds and the science data acquisition 4 minutes. Data acquired under such conditions is tagged as ALT-###.

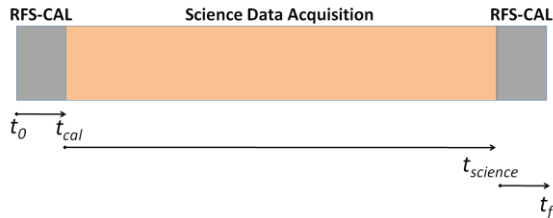


Fig. 5. Timeline for acquisition of science data

### 2.2. Test Results

There were 9 tests performed under this testing campaign (see Table II).

Table II. Summary of tests performed

Test ID	Acquisition Time	Pointing Coordinates	
		Azimuth [deg]	Elevation [deg]
CAL-044	15:44	173	39
CAL-045	15:57	174	33
ALT-043	16:09	174	26
CAL-046	16:26	224	57
CAL-047	16:48	216	50
ALT-045	17:01	211	42
ALT-046	17:08	209	37
ALT-048	17:17	208	36
CAL-048	17:25	207	30

### 2.2.1. Calibration Tests

There were two objectives within the calibration tests: a) to assess the optimal time to perform the RFS-Calibration and b) to investigate if the hardware delay derived using the RFS-Calibration is constant for all ranges of elevation observed.

By averaging different intervals of  $t$ -seconds around the instant where the RF Switch status was changed, it was possible to establish that the optimal integration time is between 20 and 30 seconds. Given the fact that the timeline for the science tests only comprised 30 seconds, the selected integration time to compute the was 25 seconds.

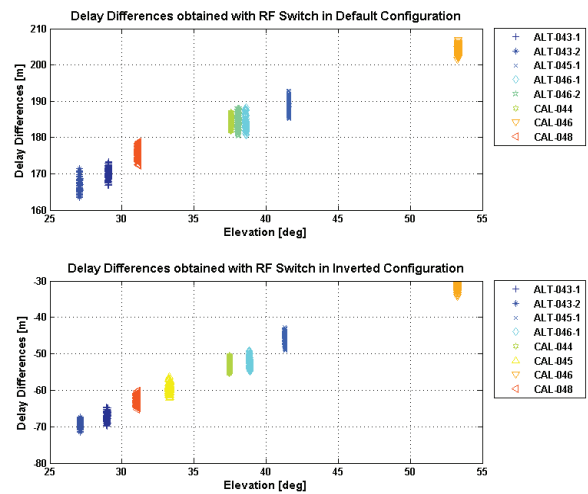


Fig. 6. Delay Differences for selected tests

Taking the values available for the *Default* and *Inverted Configurations* (see Fig. 6), the coefficients for the hardware delay were computed as presented in the Section1 and are shown in Fig. 7.

It should be noted that it has been assumed that the errors from the antenna and from the cable are zero, so that only the front-end and receiver errors can be corrected in the SARGO Data Processing.

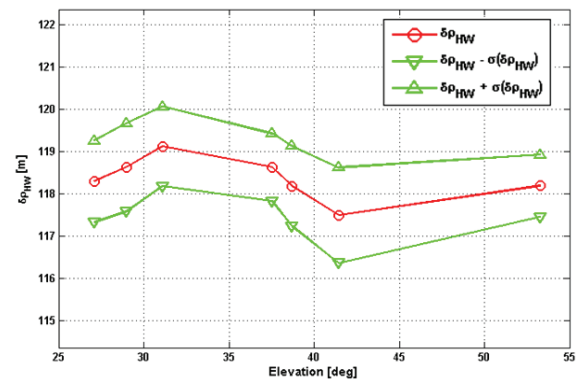


Fig. 7. Coefficient for Hardware Delay



2.2.2. Scientific Tests

In Section 1 it was described how to obtain the height of the specular point, but no assumptions were made on how to retrieve the differential delay between the reflected and direct waveforms. For the analysis presented in this work, the differential delays were obtained by retrieving the delay corresponding to the maximum value of the averaged waveforms (resultant from an integration time of 0.5 seconds). The figures below (Fig. 8 and 9.) show the result of averaging waveforms correspondent to 0.5 seconds in the ALT-043 test.

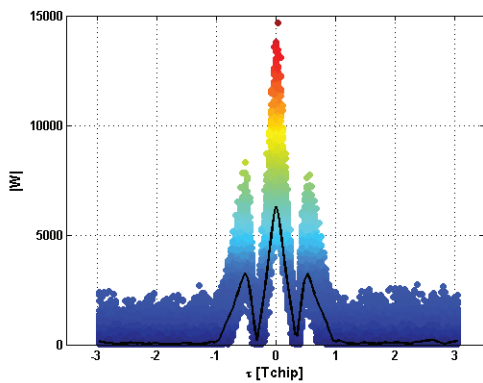


Fig. 8. Superposition of direct waveforms obtained during 0.5 seconds. The black curve corresponds to the averaged waveform used to extract the delay.

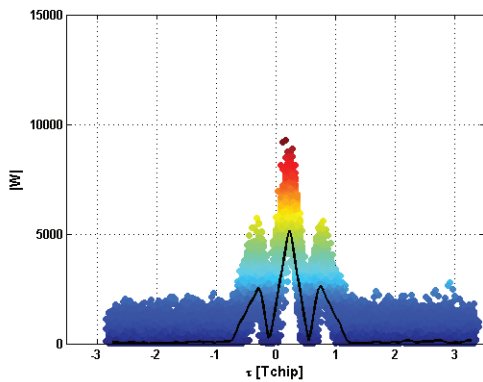


Fig. 9. Superposition of reflected waveforms obtained during 0.5 seconds. The black curve corresponds to the averaged waveform. Note that the peak of the averaged waveform has a delay of  $-0.25 T_{chip}$ .

Using the position solution determined by the u-blox GPS receiver it was possible to compute preliminary results for the height of Tagus river, as shown in Fig. 10.

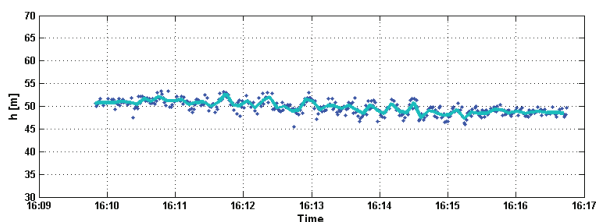


Fig. 10. Vertical distance to Tagus river for ALT-043

3. CONCLUSIONS

According to the results, there is no evidence that the hardware bias vary with elevation angles, hence the formulation that establishes that the hardware delay does not vary with elevation seems to be valid.

The following considerations should be made:

- It is being assumed that the antenna errors are zero. It is unlikely that that is the case, since the antenna phase center is always a potential error source (typically the error is below dm-level). Taking into account that it is very difficult to find a cost-effective way to characterize the errors from the antennas from the SARGO System, and that these errors should be below dm-level, as first approach they were neglected.
- It is likely that there are improvements that could be done to the SARGO Instrument that will improve the quality of the signal.

The values for the height of the river seem to have a small drift that can not be due to geophysical behaviour, thus there is still some effect in the signal that has not been corrected with the hardware delay correction.

4. FUTURE WORK

DEIMOS will continue to work on the SARGO System. The next foreseen activities include validation of the Tagus height derived with the SARGO System with on-site measurements, as well as improving the signal and data processing in the SARGO System.

Acknowledgements

The work leading to these results has received funding from the Portuguese QREN SI IDT initiative under contract no. 24593-2012. The authors would also like to acknowledge EGEAC and Padrão dos Descobrimentos for their support during the test campaigns, as well as Nottingham Scientific Ltd for their helpful support with the NSL Stereo RF FE.

REFERENCES

Martin-Neira, M. (1993). A passive Reflectometry and interferometry system (PARIS): Application to ocean altimetry. *ESA J. Vol 17*, pp. 331-355

Peres, T.R., Castro, R. Silva, J.S., Catarino, N. and Silva, P.F. (2013). GNSS Reflected Signal Acquisition with Galileo Signals. *Proceedings of ION 2013*.

# A Oceanografia Operacional em Portugal e a sua Integração nas Organizações Internacionais

C. Soares<sup>(1)</sup> e R. Ribeiro<sup>(2)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico. [ventura.soares@hidrografico.pt](mailto:ventura.soares@hidrografico.pt)

(2) Bolseira de Gestão de Ciência e Tecnologia, Comissão Oceanográfica Intersectorial do MEC.

**Resumo:** Portugal tem assistido, nos últimos anos, a um acentuado desenvolvimento das ciências do mar. Isso ocorre, em especial, no sistema global de observações do oceano, e na perspetiva de uma oceanografia operacional, dada a sua ligação próxima à comunidade de utilizadores do mar. Este desenvolvimento teve início, e terá toda a vantagem em que se mantenha, na rede de cooperação internacional. A nível global, a rede formou-se sob a égide da COI, nomeadamente com o Programa IODE e GOOS, que têm beneficiado das orientações do JCOMM. A nível europeu é incontornável a vantagem de participação na EUROGOOS, bem como no sistema regional IBI-ROOS. Esta comunicação pretende fazer um ponto da situação da participação portuguesa nestas organizações internacionais associadas aos sistemas de observação, obtenção e gestão de dados, de quais as iniciativas dadas internamente e de que maneira isso pode potenciar o papel de Portugal na oceanografia operacional no contexto internacional.

**Palavras-chave:** Oceanografia Operacional, COI, JCOMM, IODE, EUROGOOS, IBI-ROOS.

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das ciências do mar em Portugal nos últimos vinte anos tem sido o claro reflexo do investimento generalizado no conhecimento do meio marinho, em sede das entidades do Estado, da academia e das empresas. Um sinal desse investimento é o crescente número de doutorados portugueses em universidades nacionais e internacionais, na área das ciências do mar, o que não esconde, porém, a necessidade de estabelecer uma estrutura estável que envolva as instituições ligadas a este processo. A oceanografia operacional é tida como a atividade de observação sistemática dos mares e oceanos, garantindo séries longas de medições, bem como a rápida interpretação e disseminação dessas mesmas medições<sup>1</sup>. Alicerça-se portanto em três importantes pilares: os sistemas de observação, a gestão de dados e a previsão das fenomenologias presentes nos oceanos (influenciada também pela camada da atmosfera que lhe está imediatamente sobreposta). A previsão pode ser feita por um largo espectro de atores, que vai desde os organismos com responsabilidade nacional para essa previsão até aos núcleos e centros de investigação universitários. Contudo, os sistemas de observação e a gestão de dados, tendo em conta os recursos que exigem, centram-se desejavelmente em organismos do Estado que garantam a sustentabilidade dessas atividades.

É neste contexto que se pretende fazer um ponto da situação quanto à participação portuguesa nas organizações internacionais associadas à promoção de um sistema global de observação e gestão de dados dos oceanos, indicador dos progressos na área

da oceanografia operacional, e de quais as iniciativas dadas internamente, avaliando de que maneira será possível potenciar o papel de Portugal na oceanografia operacional no contexto internacional.

Os sistemas de observação e os sistemas de partilha de informação e dados oceanográficos, a nível global, surgiram no âmbito da Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI), da UNESCO<sup>2</sup>, e Portugal tem vindo a ser parte da rede, através, fundamentalmente, dos Laboratórios do Estado e das universidades, acompanhando ao longo dos anos, e participando dentro do possível, nas atividades, tendo como ponto focal o Comité Português para a COI (CP-COI)<sup>3</sup>.

## 2. A OBSERVAÇÃO

A obtenção de dados do meio marinho, bem como a subsequente previsão de fenomenologias com base na informação recolhida, são ações transversais e necessárias às várias disciplinas das ciências marinhas e, como tal, devem ser encaradas numa perspetiva integradora da gestão de recursos, sejam eles humanos, materiais ou financeiros.

Internacionalmente essa necessidade foi considerada como uma das prioridades da COI, desde a sua fundação, promovendo, desde logo, a criação do Sistema Global de Observação do Oceano<sup>4</sup>, GOOS. O módulo global do GOOS é um sistema de observação dos oceanos concebido para

<sup>2</sup> Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura.

<sup>3</sup> No âmbito do Ministério dos Negócios Estrangeiros.

<sup>4</sup> *Global Ocean Observing System*, que é cofinanciado pela COI, pela *World Meteorological Organization (WMO)*, pelo *International Council for Science (ICSU)* e pelo *United Nations Environment Programme (UNEP)*.

<sup>1</sup> Definição adotada pela EUROGOOS.

disponibilizar dados oceanográficos e produtos destinados à monitorização, previsão e gestão climáticas do oceano, e de outros objetivos afins. É também a base da oceanografia operacional em termos globais, o que inclui a previsão atmosférica e marítima costeira e global, bem como a monitorização ambiental dos oceanos. Inicialmente foi desenvolvido no âmbito dos órgãos regionais subsidiários da COI, tendo beneficiado progressivamente de alianças regionais de oceanografia operacional, constituídas por organismos essencialmente estatais, que, de um modo informal e com a base conceptual do GOOS, estabelecem estratégias e operacionalizam sistemas de observação do oceano. Na Europa o papel estratégico tem vindo a ser progressivamente desempenhado pela EUROGOOS, a associação europeia dedicada à oceanografia operacional. A um nível mais efetivo, os organismos têm-se agrupado regionalmente e Portugal, neste contexto, associa-se ao *Ireland-Biscay-Iberia Regional Operational Oceanographic System*, o IBI-ROOS. Na EUROGOOS apenas está representado, desde 2008, o Instituto Hidrográfico (IH), enquanto no IBI-ROOS estão representados o IH, o Instituto Português para o Mar e a Atmosfera (IPMA)<sup>5</sup> e o Instituto Superior Técnico (IST), todos desde 2007<sup>6</sup>. A participação portuguesa nestas organizações tem contribuído para que decisões tomadas num conjunto europeu, mesmo que não-governamental, sejam feitas atendendo aos interesses nacionais na matéria. Este envolvimento potencia ainda a participação das organizações nacionais em projetos financiados pelos adequados mecanismos europeus, conjuntamente com os outros parceiros presentes nestas organizações, o que é de sobremaneira importante, tendo em conta as dificuldades existentes nos mecanismos de financiamento estritamente nacionais.

Em termos intergovernamentais é a *Joint WMO-IOC Commission for Oceanography and Marine Meteorology*, JCOMM, o mecanismo que elabora orientações com vista a otimizar a cooperação entre países neste âmbito. A participação portuguesa nesta comissão conjunta tem sido intermitente, oscilando entre participação formal e a título de observador, nomeadamente por parte do IH.

Aqui também se releva a importância de uma participação portuguesa, num país com reconhecidas capacidades técnicas e científicas, mas nem sempre envolvido ao nível requerido dados os constrangimentos existentes.

<sup>5</sup> Na altura da adesão ainda com o nome de Instituto de Investigação das Pescas e do Mar (IPIMAR).

<sup>6</sup> O IBI-ROOS tem caráter essencialmente operacional, possibilitando a interligação das entidades nacionais produtoras de dados do oceano e as entidades congêneres na área atlântica.

Com vista a ultrapassar estas dificuldades, um dos eixos do Programa Dinamizador das Ciências e Tecnologias do Mar, PDCTM (Governo, 1998) era precisamente desenvolver as bases que permitissem a estruturação de um sistema nacional de monitorização no âmbito do GOOS. Nessa linha, o CP-COI promoveu, em 2004, a criação de um Grupo de Trabalho em Investigação e Monitorização de Oceanos e Clima (GT-IMOC), que apresentou em 2007 um “Relatório de síntese e modalidades sobre a capacidade nacional de implementação do módulo oceano/clima do GOOS e matérias afins”. O relatório continha propostas e recomendações para estruturar a componente nacional do Módulo “Oceanos/Clima” do GOOS, bem como para um acompanhamento nacional das atividades do GOOS/JCOMM.

No âmbito da anterior Estratégia Nacional para o Mar 2006-2016 (ENM 2006-2016) (Governo, 2006), foi proposto à Comissão Interministerial para os Assuntos do Mar, CIAM, pelo IH (em 2008, através do Ministério da Defesa Nacional (MDN)), um Sistema Integrado de Monitorização do Ambiente Marinho – o programa MONIZEE, que se traduz presentemente na operação de 3 boias ondógrafo, 4 boias multiparâmetro, 24 marégrafos, 4 radares de medição de correntes superficiais e 3 estações meteorológicas costeiras de apoio oceanográfico (rede desenvolvida desde os anos 80 do século passado). O MONIZEE tem sido referido, em diplomas legais, como contribuinte da componente de monitorização da Diretiva-Quadro “Estratégia Marinha” (transposta para o direito interno em 2010) e da Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira (2009).

A Estratégia Nacional para o Mar 2013-2020 (ENM 2013-2020) (Governo, 2014), considera a necessidade da observação do oceano e, em especial, do estabelecimento da componente de monitorização da Diretiva-Quadro “Estratégia Marinha”. O programa de observação do IH MONIZEE<sup>7</sup> pode assim contribuir para servir de base para desenvolvimentos futuros previstos na ENM.

Institucionalmente, tendo em conta as recentes perspetivas abertas pela ENM 2013-2020 e também as necessidades associadas à efetiva implementação da Lei de Bases da Política de Ordenamento e de Gestão do Espaço Marítimo Nacional (Assembleia da República, 2014), o CP-COI tem procurado contribuir para a dinamização dos programas de observação do oceano. Nesta perspetiva, pretende catalisar as interações entre os programas/capacidades nacionais e os programas/capacidades internacionais como o GOOS/JCOMM, através da criação, num futuro

<sup>7</sup> Que inclui o Sistema de Monitorização Operacional de Correntes Costeiras (SIMOC) e está associado ao programa de previsão operacional MOCASSIM, nas suas vertentes de previsão de marés, correntes e agitação marítima.

próximo, de um grupo de trabalho que retome e atualize as atividades do GT-IMOC e que constitua uma plataforma de troca de informações e ideias dos atores interessados. Questões como a manutenção estável, de longo prazo, da observação sistemática do oceano, a concertação entre partes interessadas, ou a participação nacional nos organismos internacionais, serão necessariamente consideradas por este grupo de trabalho.



Fig. 1. Estruturas internacionais promotoras dos sistemas de observação do oceano

### 3. A GESTÃO DE DADOS

A gestão e disseminação de dados oceanográficos são atividades transversais às várias necessidades do conhecimento marinho, sejam elas no campo científico, ambiental, económico ou de segurança e defesa.

A COI promoveu, desde os seus primórdios, a estruturação de um sistema de cooperação internacional de troca e gestão de dados oceanográficos. Neste âmbito foi estabelecido no seio da Comissão, em 1961, o programa *International Oceanographic Data and Information Exchange*, IODE. Este programa tem constituído a estrutura fundamental para a promoção e a coordenação das políticas e sistemas de dados oceanográficos a nível internacional.

A participação portuguesa no IODE tem sido também intermitente, devido a dificuldades de ordem estrutural e orçamental. No entanto, esta participação afigura-se como crucial, de forma a acompanhar, a nível global, a componente de gestão e troca de dados e informação da oceanografia operacional.

Em Portugal foi a partir da década de 80 que foram dados os primeiros passos, através do CP-COI, no que respeita à gestão e disseminação de dados oceanográficos em várias instituições, nomeadamente no IH e em outros Laboratórios do Estado, e também em unidades de investigação de

universidades. Era intenção preparar a instalação de um Centro Nacional de Dados Oceanográficos (CNDO), no IH, até finais de 1989. Tal, contudo, não veio a ocorrer. O “IODE Handbook” (COI, 1994) identifica o IH como “*Designated Nacional Agency - DNA*” de Portugal, isto porque não foi possível estabelecer o CNDO (ou seja um “National Oceanographic Data Center - NODC”) articulado com o programa IODE. Na sequência da realização da 16.<sup>a</sup> Sessão do IODE em Lisboa, no ano 2000, a Comissão Oceanográfica Intersectorial do então Ministério da Ciência e Tecnologia (COI-MCT) tentou criar uma Rede Nacional IODE, dando continuidade à intenção presente no PDCTM de dinamizar a área da Gestão e Difusão de Dados Oceanográficos, esforço esse que tem tido dificuldades em assegurar a continuidade requerida. Na mesma linha, também a proposta de definição de uma Política Nacional de Dados do Oceano (PONDO), que teria associada a eventual constituição de um Centro Nacional de Dados do Oceano (CENDO), feita pelo IH<sup>8</sup> à CIAM em 2009, no âmbito da ENM 2006-2016, não foi concretizada. Face ao panorama atual de meios técnicos de obtenção e tratamento de dados, é premente o país dispor de uma estratégia e de uma infraestrutura de dados oceanográficos, que possa servir, de uma forma pragmática e o mais alargada e adequada possível, a comunidade de utilizadores, sejam eles da ciência, do ambiente, da defesa ou da economia.

Continua, assim, por implementar uma das medidas da ENM 2006-2016, que determina a necessidade de “*gerir informação, integrando bases de dados existentes, recuperando informação histórica, promovendo o acesso e partilha de dados a nível global e internacional, contribuindo para a rede global de investigação e monitorização do oceano*”. A ENM 2013-2020 refere especificamente esta matéria, propondo também uma Política Nacional de Dados e Informação do Mar e da Atmosfera (PNDIMA) e um Sistema Nacional de Dados do Mar e Atmosfera (SNIMar)<sup>9</sup>.

Tendo em consideração a implementação da ENM 2013-2020 e da Lei de Bases da Política de Ordenamento e de Gestão do Espaço Marítimo Nacional, o CP-COI procura contribuir para assegurar a articulação destes esforços nacionais com o programa IODE. Questões como a gestão da informação recolhida por cruzeiros científicos estrangeiros em águas sob jurisdição nacional, ou a concertação e promoção da troca de informação disponível nos vários organismos nacionais, deverão ser necessariamente tidas em conta.

<sup>8</sup> Através do MDN.

<sup>9</sup> ENM 2013-2020 – Anexo B – Apêndice 1 – Adenda B – Governação-Administração



Neste momento existe uma infraestrutura nacional direcionada ao utilizador, com cerca de 400 solicitações anuais, mantida pelo IH, em colaboração com outras instituições geradoras de dados através de projetos comuns: a Infraestrutura Nacional de Dados Técnico-Científicos do Oceano, IDAMAR. Esta infraestrutura está moldada para seguir a Diretiva INSPIRE<sup>10</sup>, seguindo protocolos e formatos resultantes da participação do IH nos projetos enformadores europeus SeaDataNet e SeaDataNet2<sup>11</sup> (Soares, 2010).

A participação de organismos nacionais (IH, IPMA, LNEG, IMAR, EMEPC) em projetos-piloto da Rede Europeia de Observação e Dados Marinhos, EMODNET<sup>12</sup>, tem-se também revelado importante para a integração de padrões comuns na gestão de dados do oceano a nível europeu.



Fig. 2. Estruturas internacionais encarregadas de promover a gestão de dados do oceano

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A oceanografia operacional em Portugal tem sido alvo de algumas iniciativas que, para terem a continuidade e estabilidade requerida, deverão ser maioritariamente assumidas pelo Estado, tendo em conta a dimensão das estruturas e financiamentos necessários, e alicerçadas numa infraestrutura que permita a congregação de dados oceanográficos dos diferentes atores envolvidos – Laboratórios do Estado, universidades e empresas.

Face às várias iniciativas ligadas aos sistemas de observação e de gestão e difusão de dados, tanto a nível global como europeu, a participação portuguesa nas organizações internacionais de oceanografia operacional revela-se crucial para que o país constitua parte ativa nesta área, exigindo que internamente seja estruturado todo o sistema. Nesta perspetiva, o adequado reconhecimento internacional será potenciador de projetos de

cooperação e contribuirá para reforçar a capacidade nacional nos assuntos do oceano.

#### REFERÊNCIAS

- Assembleia da República (2014). Lei de Bases da Política de Ordenamento e de Gestão do Espaço Marítimo Nacional (*Lei n.º 17/2014 de 10 de abril*), Lisboa, Diário da República.
- COI (1994). IODE Handbook.
- Governo (1998). Programa Dinamizador das Ciências e Tecnologias do Mar – PDCTM (*Resolução do Conselho de Ministros n.º 89/98 de 10 de julho*), Lisboa, Diário da República.
- Governo (2006). Estratégia Nacional para o Mar (*Resolução do Conselho de Ministros n.º 163/2006 de 12 de dezembro*), Lisboa, Diário da República.
- Governo (2014). Estratégia Nacional para o Mar 2013-2020 (*Resolução do Conselho de Ministros n.º 12/2014 de 12 de fevereiro*), Lisboa, Diário da República.
- Soares, C. V. (2010). MONIZEE: uma resposta portuguesa à EMODNET? *Ias Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Lisboa, pp.17-20.

<sup>10</sup> Infrastructure for Spatial Information in the European Community.

<sup>11</sup> Pan-European Infrastructure for Ocean & Marine Data Management.

## Improvements on a regional operational oceanographic system

P. Costa<sup>(1)</sup>, A. Venâncio<sup>(1)</sup>, B. Gómez<sup>(1)</sup> e V. Pérez-Muñuzuri<sup>(1)</sup>

(1) METEOGALICIA. Consellería de Medio Ambiente, Santiago de Compostela, Spain (pedro.melo@meteogalicia.es)

**Resumo:** Uma indústria, altamente produtiva, de exploração de marisco e de aquacultura encontra-se localizada nas diversas rias da costa oeste da Galiza. O crescimento, qualidade e mortalidade dos bivalves são afetados por: fatores antropogénicos, episódios de grande descarga de rios e eventuais acidentes de poluição. Uma grande parte das actividades económicas desenvolvidas na região encontram-se dependentes das condições oceanográficas, podendo estas beneficiarem dos modelos numéricos de alta resolução. É neste contexto que a MeteoGalicia desenvolveu um sistema operacional oceanográfico já em execução desde o ano 2009 e em constante melhoramento. O propósito deste trabalho é a introdução das várias descargas de água doce dos rios da costa Ibérica no domínio computacional do modelo hidrodinâmico Regional Ocean Modeling System (ROMS), e verificar a sua influência nos campos de salinidade e temperatura. O resultados foram validados utilizando medidas de bóias oceanográficas de Puertos del Estado.

**Palavras chave:** Oceanografia, Modelação, Operacional, SWAT, ROMS, Rio

### 1. INTRODUCTION

The purpose of this document is to present the benefits of incorporating river discharges with the hydrological tool Soil water Assessment Tool (SWAT) in the University of California, Los Angeles (UCLA) version of the Regional Ocean Modeling System (ROMS). This effect was evaluated in a particular implementation for the North-West of the Iberian Peninsula (Figure 1.)

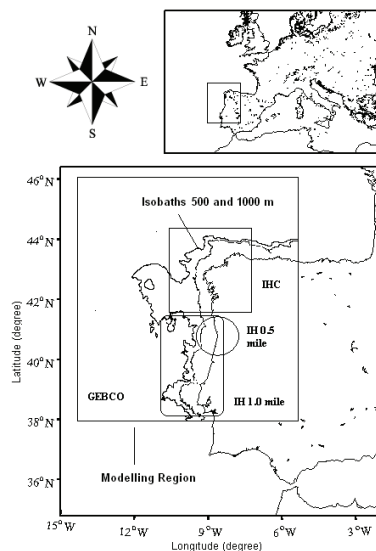


Figure 1. Study area (NW Iberian Peninsula) highlighting the modelling region and the four sources of the ocean topography: General Bathymetric Chart of the Oceans topography (GEBCO whole modelling region), IHC cartography (rectangle), IH cartography with 0.5 miles resolution (circle) and IH cartography with 1 mile resolution (rounded rectangle). Bathymetric information was acquired in geographical coordinates based on WGS84 datum.

The region's economy is strongly sea-dependent, particularly on the northwest coast, characterized by coastal bays called rías. While most of the dynamics

of the sea and weather is due to the presence of low- and high-pressure systems in the mid-Atlantic Ocean (Carracedo et al. 2005), these finger-shape coastal structures have a strong influence on the local weather. Seasonality in association with the Western Iberian circulation and hydrology favour a buoyant plume that extends along coast, (Otero et al., 2009). The presence of this plume is stronger when exists higher runoff, influencing the marine ecosystem such stratification, nutrients, turbidity and circulation patterns (Álvarez-Salgado et al., 2000; Peliz et al., 2002). This area is affected by relevant fresh water plumes from several rivers discharges, so it was decided to introduce its effects in the model to obtain a more accurate ocean dynamics representation.

In the following sections the components of the ROMS model are discussed, including results. The document concludes with a summary of needs for future model development and potential new applications.

### 2. THE REGIONAL OCEAN MODELING SYSTEM

The present form of ROMS is an evolution of the S-coordinate Rutgers University Model (SCRUM) described by Song and Haidvogel (1994). ROMS was completely rewritten to improve both its numeric and efficiency in single and multi-threaded computer architectures. It also was expanded to include a variety of new features including high-order advection schemes; accurate pressure gradient algorithms; several sub grid scale parameterizations; atmospheric, oceanic, and benthic boundary layers; biological modules; radiation boundary conditions; and data assimilation. Currently ROMS does not designate a single model, but a variety of versions developed in an open mode by different institutions.

### 2.1. The Northern Iberian Peninsula Configuration

The Northern Iberian Peninsula model implementation is fully described at Costa et al. (2011) and extends in longitude from 14°W to 4.5°W and latitude 38°N to 46°N (Figure 2). The bathymetry has a 475×400 grid cells, with a horizontal grid spacing of 0.02° and minimum depth of 25 m. For the vertical discretization it was used 41 levels following the topography. The model is nested to Mercator global model that runs with 1/12° of horizontal resolution. Mercator model provides

weekly near-real-time analysis and two-week forecasts; and with data assimilation on reanalysis mode. For this particular experiment only the analysis were used. The atmospheric forcing is provided by the MeteoGalicia operational atmospheric model Weather Research and Forecasting (WRF) that runs twice a day (00 and 12 current local time) on different resolution domains. Sea level pressure, winds, surface air temperature, surface specific humidity and radiation hourly values are extracted from the 12 km domain.,

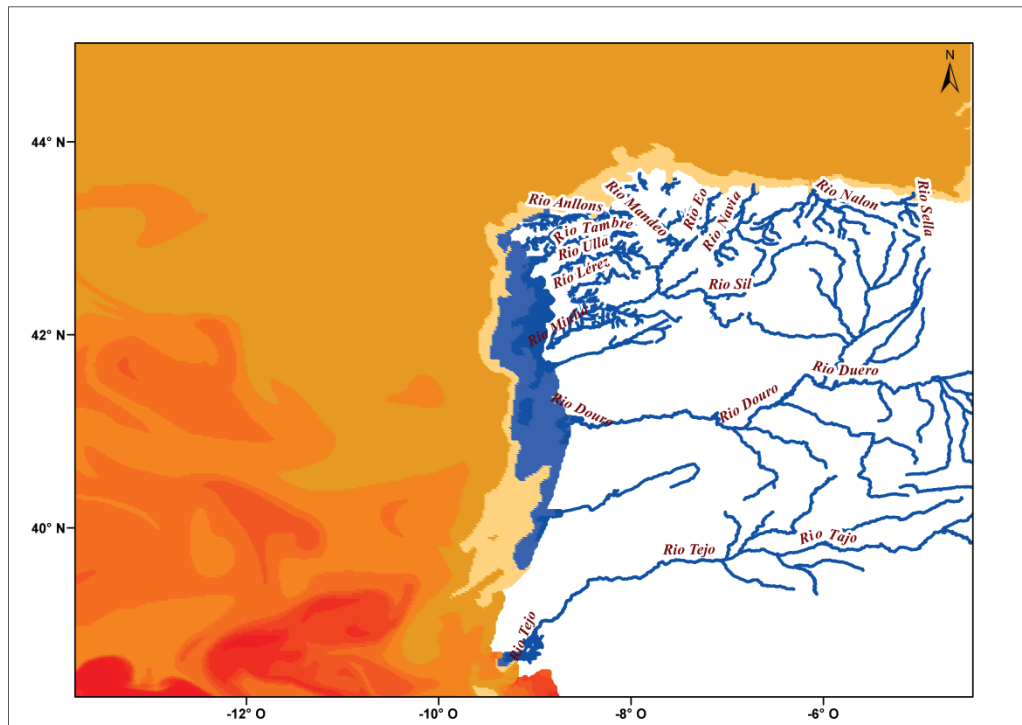


Figure 2. Rivers implemented in ROMS computational domain (North to South: Sella, Nallon, Navia, Eo, Eume, Mandeo, Mero, Xallas, Tambre, Ulla, Umia, Lerez, Verdugo, Minho, Lima, Douro, Mondego and Tagus). Data frame based on WGS84 datum

### 2.2. ROMS Tidal Modeling

For tidal forcing we use data from the OSU TOPEX/Poseidon Global Inverse Solution version 7.2 (TPXO7.2). TPXO7.2 is a global model of ocean tides, which best-fits, in a least-squares sense, the Laplace Tidal Equations and along track averaged data from TOPEX/Poseidon orbit cycles (Egbert, et al., 1994). The tides are provided as complex amplitudes of earth-relative sea-surface elevation and tidal currents for eleven primary harmonic constituents (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, MF, MM) are provided on a 1/2 degree resolution grid. These harmonics are introduced in ROMS through the open boundaries using the Flather condition (see Marchesiello et al., 2001). The volume is automatically conserved in the domain.

### 2.3. River Discharge Implementation

Flow measurements at the mouth of the rivers are very difficult to acquire, so the alternative is to use a hydrological tool which would give also flow

forecasts for the coming days. The Soil water Assessment Tool (SWAT model), developed by Agricultural Research Service and Texas A&M University, was selected. Along shoreline, the daily average flow and temperature from the main rivers for the Cantabria, Galicia and Portuguese regions are introduced in the ROMS hydrodynamic model. From north to south they are: Sella, Nallon, Navia, Eo, Eume, Mandeo, Mero, Xallas, Tambre, Ulla, Umia, Lerez, Verdugo, Minho, Lima, Douro, Mondego and Tagus, (Figure 2). This operational system predicts everyday, daily flow and temperature and the water level, velocities, and temperature, salinity fields. Results for this model, and the rest of models outputs from MeteoGalicia, are available for free in the official MeteoGalicia web page (<http://www.meteogalicia.es/>) and can be used for research or commercial proposes.

River Lima, Douro, Mondego, and Tagus daily flow measures are obtained from the *Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos* (SNIRH -

Portuguese Information System for Water Resources).

### 3. RESULTS

To give statistical representativeness to this study, a year from January 2013 to January 2014 was simulated with two model configurations. One is equivalent to the one described in Costa et al. (2011), which is the current MeteGalicia operational setup, this will be referred as *ROMS old configuration*. Whereas the other will include the river discharges described in the previous paragraph, this will be referred as *ROMS new configuration*. Figures 3 to 6 show the time evolution for one year period of the ocean temperature and salinity at 3 m depth, compared with Cabo Silleiro (42.12°N, 9.43°W) and Vilano-Sisargas (43.5°N, 9.21°W) belonging to the Puertos del Estado buoy network.

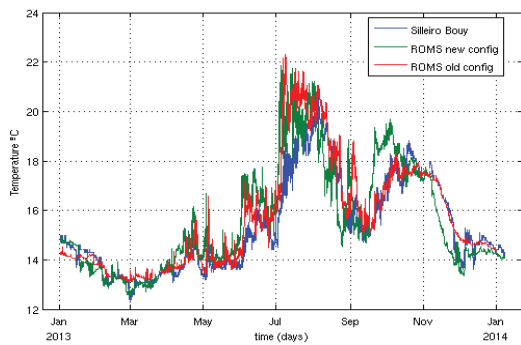


Figure 3. Time series of the ocean temperature at 3 m depth for year 2013 for the Silleiro buoy and ROMS model.

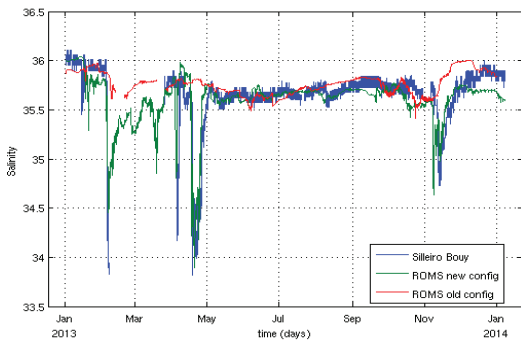


Figure 4. Time series of the ocean salinity at 3 m depth for year 2013 for the Silleiro buoy and ROMS model.

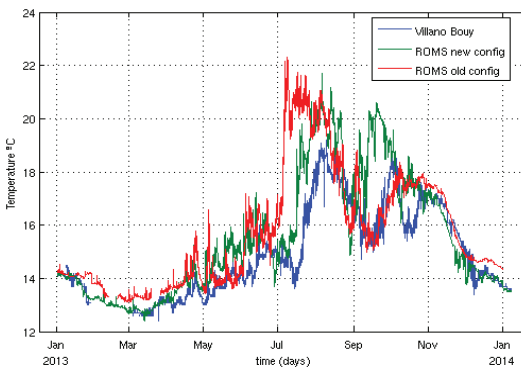


Figure 5. Time series of the ocean temperature at 3 m depth for year 2013 for the Vilano buoy and ROMS model.

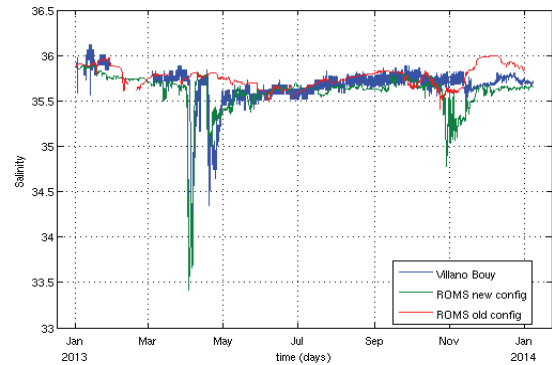


Figure 6. Time series of the ocean salinity at 3 m depth for year 2013 for the Vilano buoy and ROMS model.

For the ocean salinity at 3 meters depth, ROMS new configuration succeeds to capture the decrease in salinity that occurred during this one year period with great accuracy. It can be seen than on the period where river discharges are not very relevant, June to October, both configuration show similar results. However, during the rainy months, the configuration with rivers is able to reproduce the sudden salinity drops associated with river plumes. Temperature at 3 meter compared at Cabo Silleiro show that both ROMS configurations overestimate the ocean temperature in different periods of the year, particularly in the summer. This can also be seen in the Vilano-Sisargas buoy. However, when compared for the whole verification period, both configurations shown a good agreement with the temperature observed in these particular buoys.

The average magnitude of the difference between the forecast and observations (BIAS), the mean absolute error (MAE, the average of the absolute value of the difference between the model and observations) and the root mean square error (RMSE, the quadratic scoring rule which measures the root average quadratic distance between the model and observations) were used as skill scores to study the performance of the model. The statistical results presented in Table I show that, when evaluating the whole period, ROMS new configuration is able to produce lower scores than the old configurations when looking at salinity. And this applies to the 3 evaluated scores. Improvements are particularly good in Cabo Silleiro buoy; meanwhile in Vilano-Sisargas improvements are less relevant. It should be reminded that the objective is to improve winter salinity drops, which are short time events compared to the whole year period, and thus, their impact it less relevant here.

When looking at temperature mixed results are obtained. Meanwhile at Vilano-Sisargas the results are slightly better at the new configuration, at the Silleiro buoy results are clearly poorer. This matches the results already seen in Figure 5. Although not included in this document, studying the possible cause for this overestimation has shown that one source of this error may be the excess on the



radiation that reaches the sea surface.

Table I. Statistical parameters BIAS, MAE and RMSE.

Cabo Silleiro		Vilano-Sisargas	
ROMS Old Configuration		ROMS Old Configuration	
Temperature (°)	Salinity (psu)	Temperature (°)	Salinity (psu)
BIAS = 0.33	BIAS = 0.08	BIAS = 0.76	BIAS = 0.08
MAE = 0.48	MAE = 0.12	MAE = 0.91	MAE = 0.13
RMSE = 0.86	RMSE = 0.32	RMSE = 1.78	RMSE = 0.25
ROMS New Configuration		ROMS New Configuration	
Temperature (°)	Salinity (psu)	Temperature (°)	Salinity (psu)
BIAS = 0.29	BIAS = -0.02	BIAS = 0.64	BIAS = -0.06
MAE = 0.77	MAE = 0.09	MAE = 0.83	MAE = 0.11
RMSE = 1.67	RMSE = 0.19	RMSE = 1.42	RMSE = 0.23

#### 4. CONCLUSIONS

An ocean modelling system was developed for the northwestern Iberian Peninsula based on the ROMS model, and forced with meteorological, hydrological and tidal data. A statistical study was performed for one year of simulation, comparing model data against Cabo Silleiro and Vilano-Sisargas buoys. In general the model had shown good accordance with the observations of the ocean salinity and temperature at 3 meters depth. These results clearly demonstrate the need to take into account the local effects of the rivers plumes. This effect is particularly relevant when comparing the version with river discharges to the version without.

#### 5. FUTURE WORK

The modeling results discussed above show the potential for ROMS model to address issues of water quality at a scale of interest to environmental managers. To realize the full potential of ROMS for these applications, a number of crucial model refinements should first be made. A major goal of MeteoGalicía is to implement nested model grids at scales that permit an adequate resolution to resolve with accuracy the local features for this region. Also

special attention must be brought to the overestimation of temperature in the summer.

#### Acknowledgements

The authors wish to thank Pablo Carracedo for his contributions to this work, which were crucial to the design of the operational setup. Finally we would like to thank Interreg IV-B project RAIACO that partly supported this research.

#### REFERENCES

- Alvarez-Salgado, X. A., Gago, J., Miguez, B. M., Gilcoto, M. and Pérez F. F. (2000). "Surface Waters of the NW Iberian Margin: Upwelling on the Shelf versus Outwelling of Upwelled Waters from the Rías Baixas", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 51:821-837.
- Carracedo P., Balseiro C.F., Penabad E., Gómez B., Pérez-Muñuzuri V. (2005). One year validation of wave forecasting at Galician coast. *J. Atmos. Ocean Sci.* 10: 407-419.
- Egbert, G.D., A.F. Bennett, and Foreman, M.G.G. (1994). Topex/Poseidon tides estimated using a global inverse model, *J. Geophys. Res.*, 99, 24821-52.
- Marchesiello, P., McWilliams, J.C., and Shchepetkin, A. (2001). Open boundary conditions for long-term integrations of regional oceanic models. *Ocean Modelling*, 3, 1-20.
- Otero, P., Ruiz-Villarreal, M. & Peliz, A. (2009). River plume fronts off NW Iberia from satellite observations and model data. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 66(9), 1853-1864.
- Peliz, A., Rosa, T., Santos, A. M. P., and Pízarra, J. L. (2002). Fronts, jets and counter-flows in the western Iberian upwelling system. *Journal of Marine Systems*, 35: 61 – 77.
- Song, Y.T., and Haidvogel, D.B. (1994). A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography following coordinate system. *J. Comp. Phys.*, 115, 228-248.

# O sistema de previsão operacional do Instituto Hidrográfico

P. Mota<sup>(1)</sup>, I. van Golde<sup>(1)</sup> e J. Pinto<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico. [paul.mota@hidrografico.pt](mailto:paul.mota@hidrografico.pt)

**Resumo:** O Instituto Hidrográfico (IH) tem como uma das suas missões, apoiar a comunidade civil nas suas atividades profissionais e/ou desportivas ligadas ao mar. No âmbito desse apoio, o IH tem desenvolvido vários produtos para o apoio e segurança da navegação, assim como produtos para a previsão das condições de agitação marítima para a prática de várias atividades desportivas ligadas ao mar. Para poder garantir a qualidade e a distribuição destes produtos, o sistema de previsão operacional do IH tem vindo a ser sucessivamente alterado e melhorado. Pretende-se neste artigo dar a conhecer a arquitetura deste sistema e os passos envolvidos na obtenção dos produtos colocados à disposição do usuário final. Será discutida a utilização dos modelos numéricos SWAN e WWIII, e a integração de várias fontes de informação para o seu funcionamento. Serão também discutidos os desafios presentes e futuros envolvidos na manutenção de um sistema deste género.

**Palavras-chave:** Previsão, Agitação, Sistema, Operacional, Oceanografia

## 1. INTRODUÇÃO

No âmbito da sua missão como Laboratório de Estado e fornecedor de serviços à comunidade civil, o IH tem vindo a melhorar e a desenvolver todo seu sistema de modelação operacional de modo a fornecer mais e melhores produtos.

Querendo estender as suas valências técnicas e experiência na previsão da agitação marítima em todo o território Português, o IH pretendeu apoiar a comunidade civil na prática de várias atividades desportivas e profissionais ligadas ao mar.

Deste modo tem vindo a ser desenvolvido um sistema de previsão de alta e muito alta resolução espacial das condições da agitação marítima ao longo de toda a faixa costeira nacional, cujos resultados são apresentados e distribuídos no formato mais conveniente para o fim a que se destinam. O objetivo principal é utilizar informação proveniente de várias fontes (modelos numéricos de agitação marítima e atmosféricos) de modo a gerar a informação necessária para alimentar todo um sistema de pós-processamento capaz de produzir informação específica para grupos de utilizadores distintos.

Surgiu assim o produto “Qual é a Tua Onda?” constituído por vários sub-produtos:

- Agitação Marítima;
- Navegação de Recreio;
- Surf
- Arte-xávega;
- Portos e Aproximações;
- Praias.

Esta comunicação pretende descrever a arquitetura base do sistema operacional instalado no IH, descrevendo os modelos numéricos de agitação marítima e atmosféricos utilizados, assim como os passos envolvidos na criação dos produtos

supracitados, além das principais características de cada um.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Modelos numéricos

O sistema de previsão da agitação marítima instalado no IH, possui uma arquitetura ramificada com um arranjo em malhas encaixadas, no âmbito do modelo Wave Watch 3 (WW3) versão 3.14 (Tolman, 1999). A primeira malha é global, cobrindo a área compreendida entre as latitudes 77.5° S a 77.5° N com uma resolução espacial de 0.5°. A segunda malha cobre toda a área da ZEE Portuguesa, incluindo obviamente os arquipélagos da Madeira e dos Açores, assim como a totalidade da margem continental com uma resolução de 4'. Por fim, a última área cobre unicamente a área continental com uma resolução de 1'.

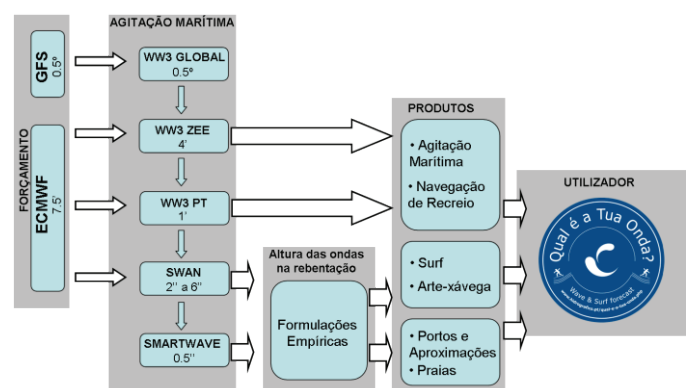


Fig. 1 – Esquema do sistema de previsão operacional

O forçamento meteorológico é proveniente de duas fontes de informação distinta. A primeira alimenta a área global com informação da cobertura de gelo e dos campos de vento a 10-m

com uma resolução de 0.5°, resultantes do modelo GFS (Global Forecast System) mantido pela National Oceanic and Atmospheric Administration (Kalnay, et al, 1996). Este modelo fornece previsões para 144-h com um passo temporal de 3-h. O segundo modelo meteorológico é utilizado com uma resolução de 7,5', e é proveniente do modelo ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) (Andersson, E., 2013) mantido pelo instituto do mesmo nome e fornecido pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Tal como no caso anterior, as previsões disponíveis também englobam um período de 144-h com, no entanto, um passo temporal de 6-h. Este modelo alimenta simultaneamente as áreas correspondentes à ZEE e ao território continental Português do WW3, assim como as áreas de maior resolução do modelo SWAN (Simulating Waves Nearshore) (Booij *et al.*, 1999). Este último modelo é particularmente apropriado para a previsão da agitação marítima em zonas costeiras, onde a maior parte das atividades ligadas ao mar ocorrem. O modelo SWAN corre diariamente 19 áreas com resoluções entre os 2' e os 6', para um período de 120-h e com um passo temporal de 6-h. Por fim, foi ainda desenvolvido o modelo SMARTWAVE, um modelo de onda para vertente suave para as áreas de menor escala (Berkhoff, 1976), que inclui os processos de empolamento, refração, difração, reflexão e dissipação por rebentação induzida pelo fundo. Este modelo é utilizado nos portos e praias individuais, onde uma resolução mais elevada é desejada. Neste caso, as resoluções usadas são de 0.5" para um período de 120-h e com um passo temporal de 6-h. De modo a aligeirar a carga computacional nas máquinas dedicadas ao pós-processamento, este modelo foi desenvolvido através do software MATLAB® necessitando unicamente do forçamento das condições de agitação iniciais provenientes do modelo SWAN.

A arquitetura do sistema, permite o aumento gradual da resolução das previsões, até à solução final nas áreas costeiras do Continente e Ilhas, com os modelos de menor resolução gerando sucessivamente as condições de fronteira para os modelos de maior resolução. Os resultados das corridas são posteriormente transferidos para as máquinas que realizam o pós-processamento da informação e a geração das figuras que alimentam a página internet e a aplicação móvel do IH

## 2.2 Produtos

O sistema operacional do IH foi sendo construído à medida das especificações dos produtos “Qual é a tua Onda”. Estes, por sua vez, foram idealizados para cobrir necessidades específicas dos utilizadores.

Assim, surgiram 3 áreas de atuação que englobam todos os produtos disponíveis.

### 2.2.1 Produtos de larga/mesoescala

Os produtos de Agitação Marítima e de apoio à Navegação de Recreio foram idealizados para a previsão da altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas para um período de 5 dias com um passo temporal de 6-h, cobrindo as áreas dos arquipélagos da Madeira e Açores, assim como para o território continental. A essa informação junta-se também a direção e intensidade do vento a 10 m no caso dos produtos para a Navegação de Recreio. Para ambos os casos, a informação da agitação marítima é proveniente das áreas WW3 ZEE e WW3 PT (Fig. 1), enquanto que a informação sobre as condições atmosféricas é proveniente do modelo ECMWF. Estes produtos permitem dar a conhecer as condições meteo-oceanográficas nas principais rotas de navegação.

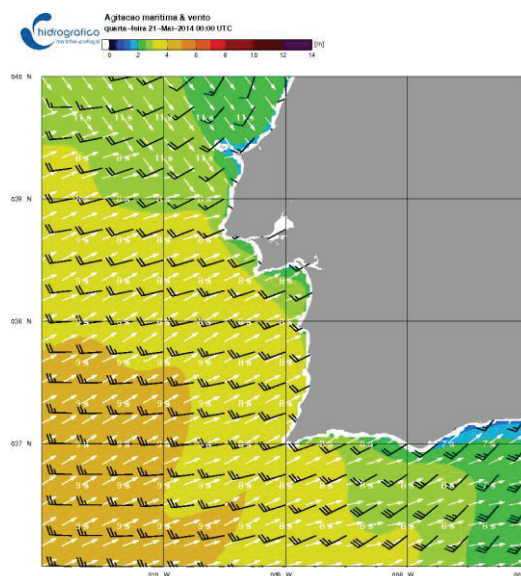


Fig. 2 – Produto para o apoio à navegação de recreio

### 2.2.2 Produtos de pequena escala

Estes produtos foram essencialmente desenvolvidos para o apoio à prática de atividades desportivas e profissionais, que ocorrem na área costeira e, sobretudo, na interface da linha de rebentação das praias. Existindo a necessidade de cobrir a totalidade do território com previsões com a maior resolução possível e, existindo limitações de ordem técnica, um compromisso entre a resolução utilizada e o tamanho das áreas modeladas teve de ser imposto ao sistema.

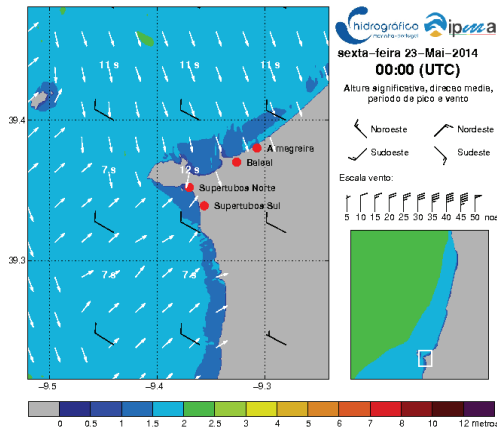


Fig. 3 – Produto para o apoio à prática do surf

Os produtos para o apoio à prática do surf, simulam a agitação marítima ( $H_s$ ,  $P_{dir}$  e  $T_p$ ) na sua aproximação à costa com resolução suficiente para representar convenientemente as modificações do campo de onda devido à interação com as principais estruturas geomorfológicas da zona (cabos, canhões, barras submarinas, etc.), permitindo identificar as praias mais adequadas para a prática das atividades desportivas. O produto apresenta também informação proveniente dos modelos de maior escala, permitindo uma visão mais abrangente da aproximação de frentes de agitação à área de interesse. Além da informação sobre a agitação marítima, a direção e intensidade do vento também se encontra representada neste produto.

Além da informação do campo de ondas em toda a área de interesse, informação mais individualizada para as principais praias da região está também disponível sob a forma de uma tabela com detalhes sobre a altura da onda na rebentação, altura da maré, direção e intensidade do vento e Índice de Qualidade do Surf (IQS).

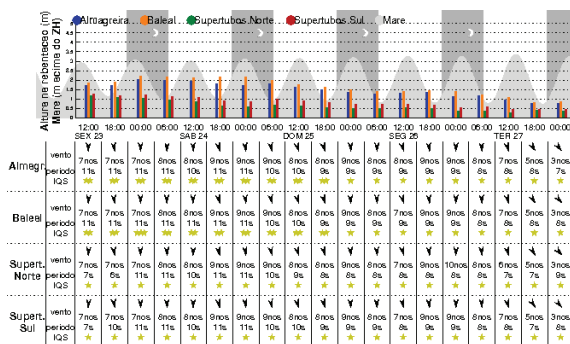


Fig. 4 – Exemplo de tabela com as previsões de altura da onda na rebentação, maré e direção e intensidade do vento, para a prática do surf

Devido às limitações do sistema, tanto a nível técnico como a nível da resolução das áreas computacionais e das batimetrias disponíveis, a altura da onda na rebentação é inferida através de

equações empíricas, que resolvem a transformação da onda na sua aproximação à costa, desde uma situação de alta profundidade até rebentar. Da mesma maneira, o IQS pretende quantificar a qualidade da ondulação para a prática do surf, tendo em conta a dispersão da direção de pico das ondas em torno da direção média e a possível interferência de vários sistemas de ondas no espectro principal. Este último é também representado para cada praia, permitindo quantificar quantos sistemas de ondas diferentes afetam a agitação na praia.

### 2.2.3 Produtos de alta resolução

Estes produtos foram desenvolvidos no sentido de aumentar ainda mais a resolução e o detalhe em áreas sensíveis como os portos, barras marítimas e as praias. As simulações resolvem o campo de ondas na zona imediatamente adjacente a alguns dos principais portos Portugueses. A maré é inserida no modelo com o intuito de aproximar ainda mais os resultados à realidade, sendo também apresentada. O produto em si apresenta também, além da distribuição espacial do campo de ondas, a altura da onda ao longo da linha do enfiamento de entrada de cada porto. Vários parâmetros meteorológicos são também adicionados, tais como a direção e intensidade do vento, cobertura de nuvens para a área do porto, assim como a temperatura da água.

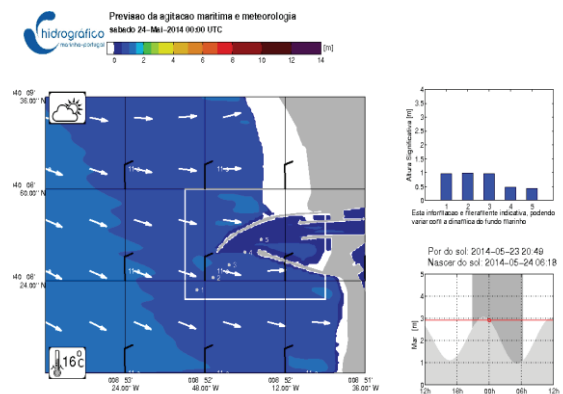


Fig. 5 – Exemplo do produto para o apoio aos portos e aproximações

O produto desenvolvido para as praias, neste momento limitado ainda à zona da Costa da Caparica, é em tudo semelhante ao produto dos Portos e Aproximações, tanto a nível de resolução espacial como temporal. Este produto apresenta informação individualizada de vários parâmetros obtidos são fruto da aplicação de equações empíricas aos resultados do modelo SMARTWAVE. Este pós-processamento permite calcular a altura da onda na rebentação, a profundidade na rebentação, distância da linha de rebentação à linha de água, assim como o comprimento de onda para cada praia. Estes parâmetros permitem ao utilizador uma aproximação às condições da agitação em cada praia, pretendendo



contribuir para a segurança nas zonas balneares. A linha de rebentação encontra-se também representada na figura 6, assim como a curva de maré e a cobertura nebulosa.

### 2.3 Distribuição

A totalidade destes produtos é distribuída gratuitamente ao utilizador através de uma aplicação móvel em formato Android® (em fase final de desenvolvimento), podendo também ser acedida via Portal do Instituto Hidrográfico.

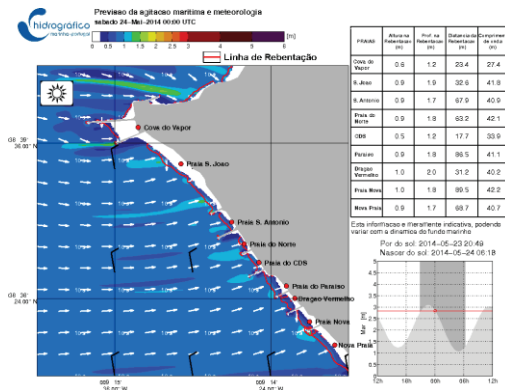


Fig. 6 – Exemplo do produto com a previsão da agitação marítima nas praias

## 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maioria dos produtos desenvolvidos no âmbito da aplicação “Qual é a tua Onda”, contou com a colaboração de vários utilizadores e instituições que permitiram criar os produtos apresentados nesta

comunicação. Sendo uma parte integrante deste sistema, o “feedback” dos utilizadores revela-se fundamental para a adequação dos produtos às suas necessidades. Assim, o sistema operacional do IH está sujeito a constantes desenvolvimentos para assegurar a sua relevância.

## REFERÊNCIAS

Andersson, E., *User guide to ECMWF forecast products* (2013). European Centre for Medium-Range Weather Forecasts technical note, 121p., Reading, U.K.

Berkhoff, J.C.W., 1976. Mathematical models for simple harmonic water wave models; wave refraction and diffraction. *Ph. D. Thesis Techn. Univ. of Delft*, 110 pp.

Booij, N., Ris, R.C. e Holthuijsen, L.H. (1999). *A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation*. Journal of Geographical Research, C4, 104, 7649-7666.

Kalnay E., *et al* (1996). *The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project*. Bull Am Meteorol Soc 77:437-471

Tolman, H. (1999). *User Manual and System Documentation of WAVEWATCH-III*. Version 1.18, NOAA/NWS/NCEP/OMB technical note 166, 110p., Washington, E.U.A

# Tagus Estuary hydro-biogeochemical model: Inter-annual validation and operational model update

G. Franz<sup>(1)</sup>, R. Fernandes<sup>(1)</sup>, H. de Pablo<sup>(1)</sup>, C. Viegas<sup>(1)</sup>, L. Pinto<sup>(1)</sup>, F. Campuzano<sup>(1)</sup>, I. Ascione<sup>(1)</sup>, P. Leitão<sup>(2)</sup> and R. Neves<sup>(1)</sup>

(1) MARETEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. guilherme.franz@ist.utl.pt

(2) HIDROMOD.

**Abstract:** The validation of the Tagus estuary hydro-biogeochemical model was performed for the period between 2006 and 2012 taking into account data of tide gauges, Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), in-situ water samples and multiparametric probes installed in two buoys located in different estuarine areas. This validation allowed to: verify the model results along several years with different hydrological regimes; overcome model limitations and improve the model configuration in order to represent the observed patterns in the Tagus estuary. As an outcome of this work, the Tagus estuary model implemented by the MARETEC research team was updated with a more refined resolution (200 m) for the entire estuary. The Tagus Estuary model was used in management studies for the wastewater treatment companies SIMTEJO and SIMARSUL and is currently running in operational mode.

**Key words:** operational modelling, validation, hydrodynamics, water quality, Tagus estuary

## 1. INTRODUCTION

The validation and implementation of a new hydro-biogeochemical operational model for the Tagus estuary (Portugal) with a high resolution is described in this paper. The model was implemented using a downscaling approach, which allowed defining ocean boundary conditions from a large-scale model. A vertically integrated (2DH) version of the Tagus Estuary model was firstly verified against data measured in the years 2006-2012. The 2DH model was useful to understand the Tagus estuary patterns, and it was also used in management studies for the wastewater companies SIMTEJO and SIMARSUL, helping to assess the impact of individual nutrient sources to the estuary biogeochemical cycle.

Although the 2DH model was useful for running long periods with a reasonable computational time, it is a simplification of the reality that has some limitations when simulating estuarine systems, mainly during periods of strong water column stratification observed in high river flow conditions and neap tides. Thus, a three-dimensional (3D) version of the Tagus Estuary model was developed in 2013, continuing the previously work. The 3D version is running in operational mode and providing online daily forecast results of hydrodynamics and water quality for the Tagus estuary. The model was developed by the MARETEC research team, using the MOHID water modelling system. The operational model will provide forecasting data to a web portal about the Tagus estuary, as a product of the ENVITEJO project.

## 2. MODEL SETUP

The hydrodynamic module is the core of the MOHID water modelling system. This is a three-dimensional hydrodynamic model that solves the Navier-Stokes equations, considering the Boussinesq and hydrostatic approximations. The equations are numerically solved using the finite volumes approximation concept with a generic vertical discretization, which allows simultaneous implementation of various types of vertical coordinates.

The vertical discretization of the Tagus Estuary model consists of 14 Cartesian layers overlapped by 7 Sigma layers. The vertical resolution is about 1 m near the water surface. The horizontal resolution is constant, with 351 x 405 cells of 200 m x 200 m. The model bathymetry was generated from the last update of the Portuguese Hydrographic Institute database for the Tagus estuary (Fig. 1).

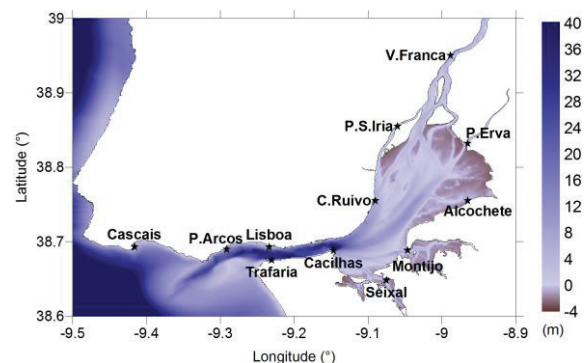


Fig. 1. Bathymetry (m) of the Tagus estuary relative to the hydrographic zero (2.08 meters below the mean sea level in Cascais) and locations of the tide gauges used to verify the model

results. Negative depths represent the intertidal zones that can be above water in low tides.

### 2.1. Boundary Conditions

The open boundary conditions for hydrodynamics and water properties are provided by the Tagus Mouth operational model, described by Campuzano et al. (2012). The Tagus Mouth model was implemented by the MARETEC research team mainly for the study of the estuary mouth and covers a larger area with a lower resolution (ranging from 2 km to 300 m). This model is also a downscaling of the Portuguese Coast Operational Model System (PCOMS), described by Pinto et al. (2012). PCOMS is forced by the FES 2004 (Finite Element Solution) tide model (Lyard et al., 2006). The tide is propagated from PCOMS to the Tagus Estuary model with the Flather (1976) radiation scheme, which enables to radiate external gravitational waves over the perturbation produced by other mechanisms, as the wind and the Coriolis force.

The atmospheric boundary conditions are provided by the WRF model (Weather Research and Forecasting), implemented by the Instituto Superior Técnico Meteorological team with a 3 km resolution covering the Tagus estuary area (Trancoso, 2012). The Tagus river flow is defined in the operational model by the latest data available from the Almourol hydrometric station (<http://snirh.apambiente.pt>). The freshwater input of the other two most important rivers, Sorraia and Trancão, were defined by monthly average values. Water properties concentrations for all rivers inputs, as well as the discharges of 21 wastewater plants to the estuary, come from climatological analysis.

### 2.2. Automatic Running Tool

The Automatic Running Tool (ART) developed at MARETEC allows running the Tagus Estuary model in operational mode. This software has been designed to enable automatic simulations and can be used to run past periods or in nowcast/forecast mode. ART is responsible for:

- preparation and configuration of model inputs, including downloading, extraction, glueing and interpolation of boundary and initial conditions;
- running model simulations;
- backup and storage of output results;
- generation of maps and time series based on model results;
- sending emails to control the operational system.

## 3. VALIDATION

The most complete study about tidal propagation inside the Tagus estuary was carried out by the Portuguese Hydrographic Institute (Lemos, 1972), based on water level measurements in sixteen

stations over a period of several months. The tide propagation into the Tagus Estuary model was assessed by comparing the harmonic constituents extracted by harmonic analysis of the water level results and tide gauges data from Lemos (1972), making use of the MATLAB T\_Tide package (Pawlowicz et al., 2002). Furthermore, the velocity results were compared with six month data from an Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) installed in a buoy located in the Tagus estuary (Fig. 2).

The companies SIMTEJO and SIMARSUL have been monitoring the water quality in the Tagus estuary in nineteen stations since 2004 with a trimestral frequency. The monitoring data were used to verify the model results of: temperature, salinity, cohesive suspended solids, dissolved oxygen, ammonia, nitrate, total phosphorous and chlorophyll. In July of 2012, two multiparametric probes were installed in different estuarine zones, providing measured data every twenty minutes. These data made possible to assess the fortnightly and daily variation in the measured parameters (temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, turbidity and chlorophyll). The location of the monitoring stations and the multiparametric probes is presented in Fig. 2.

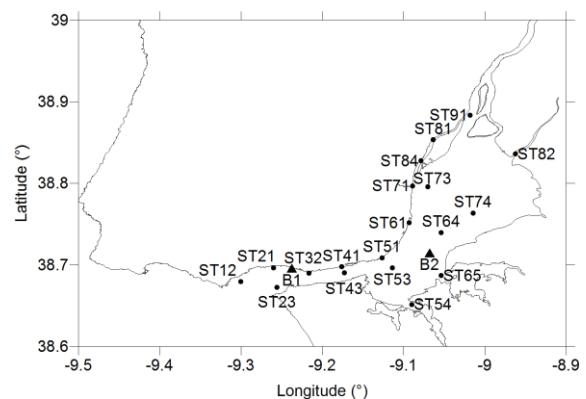


Fig. 2. Location of the monitoring stations (●) and buoys (▲) where are installed the multiparametric probes. The ADCP is located in the buoy B2.

## 4. RESULTS AND DISCUSSION

The amplitudes and phases of the main tidal component in the Tagus estuary (M2), for the tide gauges showed in Fig. 1, are presented in Fig. 3. The tide amplitude is amplified throughout the estuary until the upper area, where it decreases due to bottom friction. The results of amplitude and phase are in general very accurate. The largest errors occurred in V. Franca station, with -0.22 m of amplitude and 12.7° of phase. The grid resolution of 200 m is not sufficient to represent the small channels geometry in the upper area of the estuary, which is possibly the reason for these larger differences.

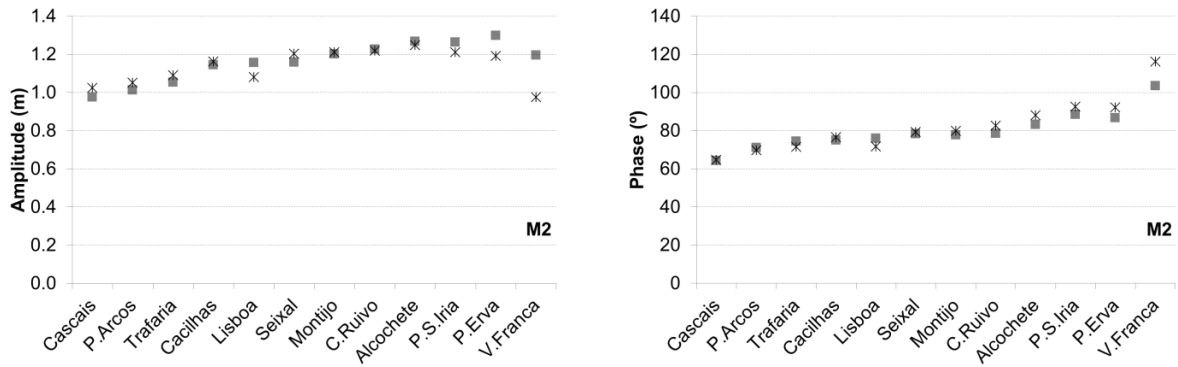


Fig. 3. Amplitudes (on left) and phases (on right) extracted by harmonic analysis of the data from Lemos (1972) (x) and the model results (■) for the most important component (M2) in the Tagus estuary.

The velocity results showed a good correlation with the ADCP measured data (Fig. 4). The Root Mean Square Error (RMSE) was 0.20 for the six month time series measured in 2012. The velocity intensities have a large oscillation caused by the tidal cycle. The higher velocity intensities occur in the ebb tides when the water level decreases, with peak values in the order of 1.0 m/s in the spring tide in this location.

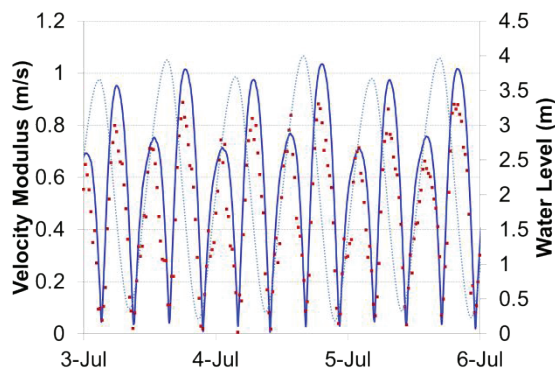


Fig. 4. Comparison between the velocity modulus results (—) and data (•) measured by the ADCP installed in the buoy B2 for July of 2012. The water level (...) is plotted to show the effect of tide on velocity.

In order to validate the water properties model results in the simulated years (2006-2012), we used the concentrations measured in the monitoring stations, as well as statistical values (maximum, median and minimum) calculated using monthly data series. The statistical analysis gives a more representative indication of concentrations variability along the year in different estuarine zones. In general, the model successfully represented the observed data. The suspended sediment results are compared against data measured in some monitoring stations along the Tagus estuary in Fig. 5. Concentrations during spring tides often exceeds  $50 \text{ mg L}^{-1}$  in stations located in the upper shallow estuary (ST84, ST64), while in the deeper areas near the estuary mouth concentrations were normally less than  $50 \text{ mg L}^{-1}$  (ST12).

The data from the two multiparametric probes were used to assess the fortnightly and daily variation of

temperature, salinity, dissolved oxygen, and chlorophyll. Furthermore, turbidity data were used to verify the variation in the suspended sediment results. The chlorophyll results were compared with data from the two multiparametric probes (Fig. 6). It is possible to observe the oscillation in chlorophyll concentrations due to the fortnightly tidal cycle, mainly in the location of buoy B2. The estuary turbidity increases in spring tides, when the water velocities are higher, enabling the erosion of a larger amount of deposited sediments. The light availability is considered the main limitation factor to the phytoplankton growth in the Tagus estuary, which was confirmed by the model results.

The probes data also allowed verifying differences in the chlorophyll concentrations during ebb and flood tides. The concentrations increase during ebb tides, because the water from the shallowest and most productive estuarine zones passes through the buoys location. On the other hand, during flood tides the water comes from the deepest and least productive zones.

## 5. CONCLUSION

The model validation performed along several years allowed: to verify the model results in different hydrological regimes; access the model limitations and improve the model configuration in order to represent the observed Tagus estuary patterns. The model results were validated with harmonic analyses of tide gauges data and measured velocities, demonstrating a reliable representation of the estuary hydrodynamics. The water properties data measured in the monitoring stations located in different estuarine zones allowed a spatial verification of the model results. On the other hand, the data of the multiparametric probes allowed a verification of the fortnightly and daily variation in the water properties. The Tagus Estuary operational model permitted to integrate the data measured in different locations and time scales, providing a better understanding of the Tagus estuary dynamics and forecasting results for different type of users.



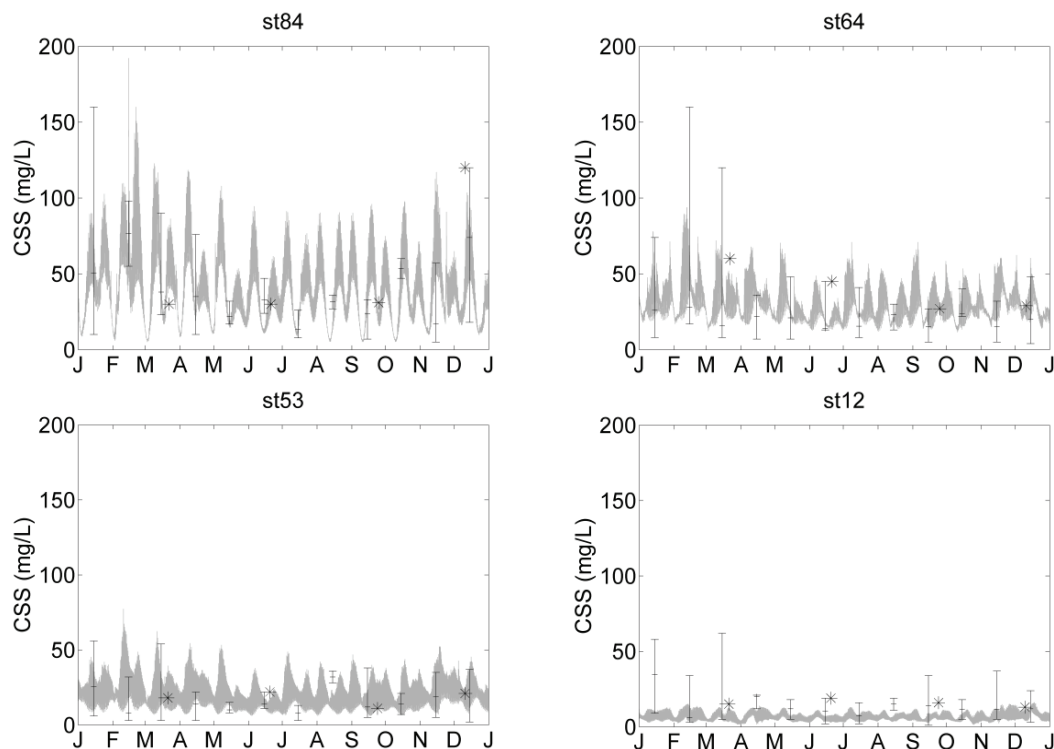


Fig. 5. Comparison of simulated (-) cohesive suspended sediment (CSS) concentrations and measured data in the year 2012 (\*) and the maximum, median and minimum of the monthly data series between 2004 and 2012 (I)

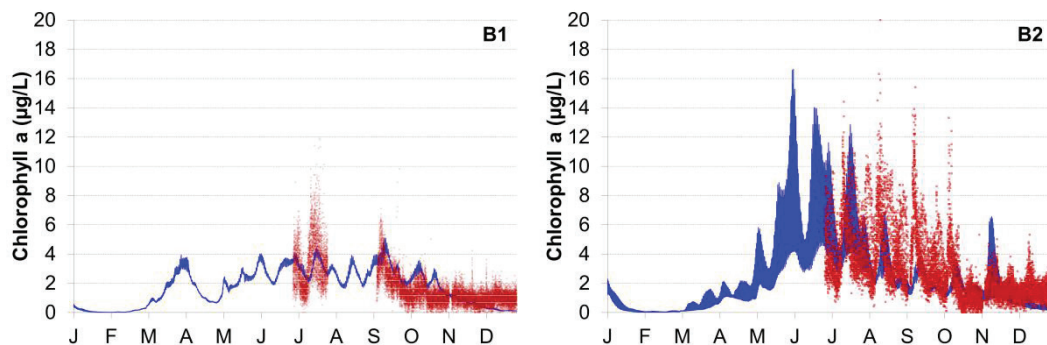


Fig. 6. Chlorophyll concentration results (-) compared against measured data (•) in the two multiparametric probes located in buoys B1 and B2

### Acknowledgements

This work was partially supported by ENVITEJO project (LISBOA-02-2607-FEDER-000241). The authors are grateful to the companies SIMTEJO and SIMARSUL for providing data.

### REFERENCES

- Campuzano, F.J., Fernandes, R., Leitão, P.C., Viegas, C. de Pablo, H. Neves, R. (2012). Implementing local operational models based on an offline downscaling technique: The Tagus estuary case. *Book of abstracts of the 21H Jornadas*.
- Flather, R.A. (1976). A tidal model of the north-west European continental shelf. *Memoires de la Society Royal des Sciences de Liege*, 6 series, 10, 141-164.
- Lemos, P.A.F. (1972). *Estuário do Tejo*. Administração Geral do Porto de Lisboa, Lisbon.
- Lyard, F., Lefèvre, F., Letellier, T., and Francis, O. (2006). Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004. *Ocean Dynamics* 56, 394-415.
- Pawlowicz, R., Beardsley, B., Lentz, S. (2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T\_TIDE. *Computers and Geosciences* 28, 929-937.
- Pinto, L., Campuzano, F.J., Fernandes, R., Fernandes, L., Neves, R. (2012). An operational model for the Portuguese coast. *Book of abstracts of the 21H Jornadas*.
- Trancoso, A.R. (2012). *Operational Modelling as a Tool in Wind Power Forecasts and Meteorological Warnings*. PhD thesis. Technical University of Lisbon, 120 pp.

# Implementation and validation of an operational model for the Portuguese exclusive economic zone

L. Pinto <sup>(1)</sup>, F. Campuzano <sup>(1)</sup>, M. Juliano <sup>(2)</sup>, R. Fernandes <sup>(1)</sup> and R. Neves <sup>(1)</sup>

- (1) MARETEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, Portugal. [ligia.pinto@tecnico.ulisboa.pt](mailto:ligia.pinto@tecnico.ulisboa.pt)
- (2) LAMTec-ID – Universidade dos Açores. Edifícios da Marina, Apartado 64, 9760-412 Praia da Vitória, Portugal

**Abstract:** The Lusitania model is a 3D baroclinic regional model for the Portuguese Exclusive Economic Zone (EEZ) based on the MOHID Modelling System. The Lusitania application covers a wide area of the eastern Atlantic Ocean, including the Portuguese EEZ, and the Western Mediterranean Sea and is forced by the MyOcean general circulation model, the FES2004 global tide solution and the atmospheric forcing provided by the NCEP Global Forecasting System (GFS). The domain's limits were set to provide modelling results to the Portuguese EEZ and to supply boundary conditions to the existing operational models that run on a daily basis for the continental region, Madeira and Azores archipelagos. A general description of the Lusitania application will be provided and model results will be shown.

**Key words:** Portuguese EEZ model, Operational model, MOHID modelling system

## 1. INTRODUCTION

Ocean and coastal modeling have reached the scientific and technological development to be used on a forecast mode by operational models. The information provided by an operational model is used mainly by local users and consequently the local service has to be the result of a downscaling process that must be financially and technically sustainable. To be scientifically sustainable it must be built on regional scientific developments in order to be part of the regional scientific agenda. To be financially sustainable it must be consistent with the administrative structure. In Europe the national level appears immediately after the Union level and consequently downscaling must pass by a national level.

The Portuguese EEZ is one of the largest in the Europe and downscaling from ocean models can be done directly to the regional seas (Madeira, Azores and Iberian zone). However, the account of an intermediate level has scientific and socio-economic advantages. Lusitania model for the entire Portuguese EEZ aims to get advantage of both. Downscaling requires the combination of tidal models with the lower frequency solution provided by global circulation models. This implies the use of simplify approaches at the open boundaries that can have consequences for the solution near the boundary. Thus the model open boundary must be located as far as possible from the end user study area. The open boundary issue has lower consequences when nested models are used because at the boundary between the coarser and the finer models there is only a numerical issue, since both levels simulate the same processes.

The Lusitania model covers the current Portuguese EEZ providing results to the Portuguese EEZ and to supply boundary conditions to the existing operational models that run on a daily basis for the continental region, Madeira and Azores archipelagos. The second level models, in addition, provide boundary conditions to even more refined local applications that require higher resolution results to answer management issues as bathing water quality, outfall monitoring, in a downscaling process.

## 2. MODELLING TOOLS

The Lusitania application is a system based on the MOHID model (Neves, 2013). MOHID is an open-source numerical model ([www.mohid.com](http://www.mohid.com)) programmed in ANSI FORTRAN 95 using an object orientated philosophy. The MOHID modelling system includes three main parts: MOHID Water for generic free surface flow, MOHID Land for catchments and MOHID River Network for the catchment drainage system. Each component manages the specificities of the equations to be solved and the main system manages common issues (e.g. solvers, atmospheric forcing, IO, Geometry handling tools). The core of the model is a fully 3D hydrodynamic model which is coupled to different modules including water quality, atmosphere processes, discharges, oil dispersion, jet mixing zone model for point source discharges. The MOHID Water model has been applied to several coastal and estuarine areas and has shown its ability to simulate successfully different spatial scales from large coastal areas (i.e. Santos *et al.*, 2002; Bernardes, 2007) to estuaries (i.e. Saraiva *et al.*, 2007, Campuzano *et al.*, 2013) and coastal structures (i.e.

Silva *et al.*, 2000), including the interaction between waves and currents.

Downscaling within MOHID can be done online or offline. Online nesting obliges all model levels to run simultaneously, the boundary conditions being provided in sequence, from the coarser level to the finer level, at all time steps. This implies that the all system must be run on the same local network and preferentially on the same computer. In offline, downscaling boundary conditions are provided to each modelling level using the upper level output files written with a high frequency in order to be used to simulate the tidal flow (Campuzano *et al.*, 2012). This operational modelling philosophy allows producing local realistic forecasts that integrate the large ocean processes to more detailed bathymetry descriptions and more reliable local forcing (e.g. meteorological and rivers discharges). These modelling techniques and tools are generic, thus it can be applied in any location within the study area. This downscaling philosophy will be applied to Lusitania model results in order to provide boundary conditions to the Portuguese continental coast, the Madeira archipelago and the Azores archipelago regional models.

In order to manage and to automatize the operational procedures Maretec-IST developed the Automatic Running Tool (ART) software that pre-process the input files needed, execute the model and distribute the model results in several forms. The ART tool allows running models in a cascade scheme, where downstream models wait for a signal indicating that the immediate upstream model have finished running, and triggers the following model simulation. Thus reducing the computational time, as the different models can run in separate machines.

### 3. LUSITANIA MODEL

The Lusitania application covers a wide area of the eastern Atlantic Ocean and the Western Mediterranean Sea. The domain's limits were set to cover the current Portuguese EEZ and to simulate accurately the Strait of Gibraltar water fluxes that influence the southern coasts of continental Portugal.

The Lusitania application is composed of two nested model domains with  $0.08^\circ$  resolution. The Level1 (L1) consists on a 2D barotropic model covering the geographic area  $24.63^\circ\text{N}$ - $47.91^\circ\text{N}$  and  $37.83^\circ\text{W}$ - $9.45^\circ\text{E}$ . This level is forced along its open boundaries by tidal components obtained from the FES2004 global tide solution (Lyard *et al.*, 2006).

The Level2 (L2) consists on a 3D baroclinic model covering an area slightly smaller ( $26.07^\circ\text{N}$ - $46.47^\circ\text{N}$  and  $36.39^\circ\text{W}$ - $8.25^\circ\text{E}$ ) and vertically discretised in 50 layers, where the top 8 meters correspond to 7 sigma coordinate layers being followed by 43 Cartesian layers with increasing depth thickness.

Two bathymetric sources of data were combined: the EMODNet Hydrography portal (<http://www.emodnet-hydrography.eu>) complemented by the  $30''$  resolution global bathymetry data SRTM30\_PLUS (Becker *et al.*, 2009) for regions where EMODNet data was not available.

The Level2 domain was forced using the tidal levels computed by Level1 along with atmospheric forcing provided by the NCEP Global Forecasting System (GFS) and the MyOcean general circulation model (MyOcean catalogue product ID: GLOBAL-ANALYSIS-FORECAST-PHYS-001-002). The GFS model provides information about air temperature, atmospheric pressure, wind and solar radiation with a horizontal resolution of  $0.5^\circ$ . The initial and boundary conditions for currents, sea temperature and salinity were obtained from the MyOcean product with a horizontal resolution around  $0.083^\circ$ .

Figure 1 shows (a) the contours of the three regions forming the Portuguese EEZ, the domain of the Lusitania model (larger rectangle) and the limits of the operational models being run for the Azores, Madeira and Iberian regional seas. These three models will be forced with boundary conditions provided by the Lusitania application using the MOHID model nesting capability. The Lusitania simulation started in January 2013 and is being run to become fully operational.

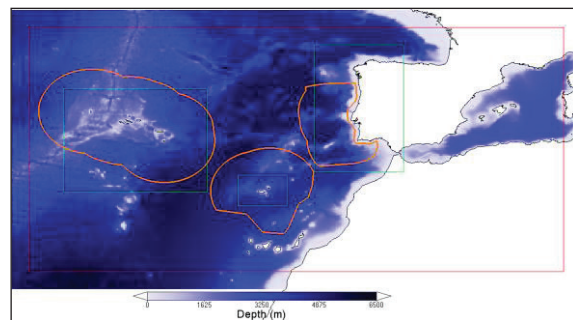


Fig. 1. Map displaying the current Portuguese EEZ (orange polygons), regional models (green squares) and the bathymetries for the Lusitania Level1 grid (whole domain), Level2 grid (area within the red lined square).

#### 3.1. Model results

The Lusitania Level2 is producing water levels and 3D fields for currents, salinity and temperature. The model reproduce the abrupt differences in water levels that could take place between the Atlantic Ocean and the Mediterranean Sea (Fig. 2).

Model results showed the different water masses present in the domain. The model reproduces (Fig. 3) the sharp salinity gradients in the Mediterranean created by the surface fresher Atlantic water flow and shows the mixing between this water and the saltier Mediterranean water consequence of the negative water balance between evaporation and fresh water inputs. The surface temperature results

(Fig. 4) display the meridional gradient in the Atlantic side that contrasts with the more homogeneous Mediterranean Sea distribution. The figure also puts into evidence the wind influence on temperature through coastal upwelling along the Western European and African coasts. In the Mediterranean, lower surface temperatures can be observed near the Strait of Gibraltar due to colder Atlantic Waters and in the Gulf of Lions (North Western Mediterranean Sea) that could be related to major surface cooling due to cold air transported by north-western winds known as *mistrals*. The combination of high salinities and cold water in this region produce dense water that submerges creating the Western Mediterranean Deep Water (WMDW).

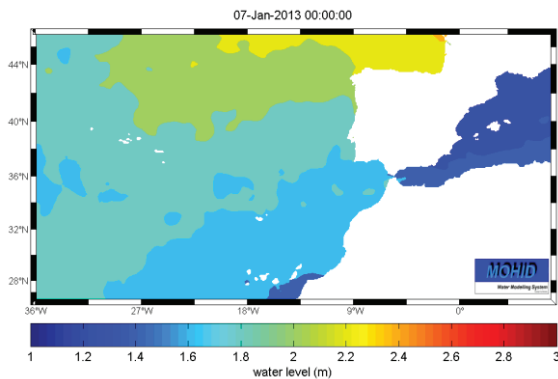


Fig. 2. Example of instantaneous water levels generated by the Lusitania Level 2 application.

The Lusitania model results were verified using remote sensing sensors, i.e. satellite and Argo floats and moored sensors as tidal gauges and buoys.

Moored stations are commonly used to confirm model performance along the coast; in recent times with the implementation of operational procedures data is nearly available in real time. For verifying the Lusitania model, tidal gauge and buoys data from the MyOcean project belonging to three different countries (France, Spain and Portugal) are being used. Remote sensing permits to obtain observations in remote areas where traditional sampling would be very costly. Satellite imagery allows covering spatially large regions of the globe and can be used to validate the values and general distributions of variables. In this case, model results are being compared with MicroWave Optimally Interpolated sea surface temperature data (MW OI SST) produced by the Remote Sensing Systems group. Also comparisons with the Argo floats (<http://www.argos-system.org/>) are being performed.

The Argo floats consists of a large collection of small, drifting oceanic robotic probes deployed worldwide that each 10 days submerge up to 2000 m and register conductivity and temperature profiles. This comparison is crucial for determining the correctness of the water masses vertical distribution in the model, complementing the information provided by satellite imagery.

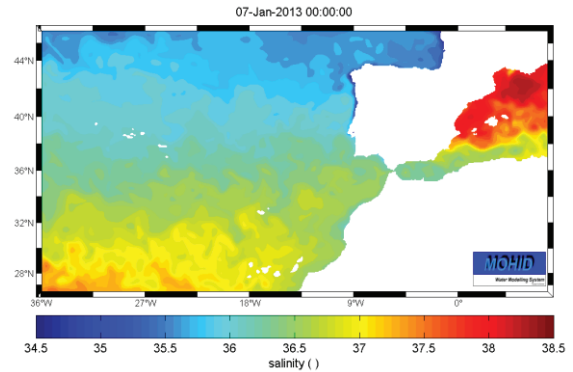


Fig. 3. Example of instantaneous surface salinity for the Lusitania Level 2 application.. The gradient between the Atlantic Ocean and the Mediterranean Sea in the Alboran Sea is clearly visible.

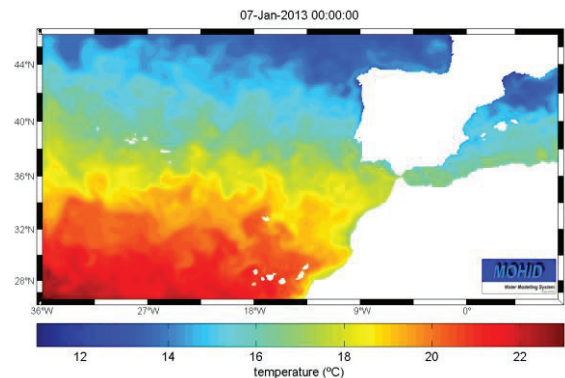


Fig. 4. . Example of instantaneous surface temperature for the Lusitania Level 2 application.

#### 4. CONCLUSION AND FUTURE WORK

Regional models make the bridge between global circulation models and local coastal and estuarine models that are in fact the most important in terms of socio-economics. At the global scale free surface fluxes are the only relevant forcing, while at the local scale tide is often the most important forcing. Downscaling of global circulation models to force local models needs for consequence an intermediate regional model forced at the open boundary by results of a global circulation model and by a global tidal model.

The Lusitania application is able to represent the oceanographic processes as temperature and salinity fronts and gradients, and the general circulation patterns of this part of the Atlantic and the western Mediterranean basin. This model would provide boundary conditions to more refined regional models, i.e. Portuguese continental coast and the Madeira and Azores archipelagos, and to areas that could be defined of interest following the cascade downscaling technique.

The described pre-operational model will be continuously simulated until the present to become an operational application. Under the Mohid modelling philosophy, the application would be able to increase its performance including rivers and



biogeochemical processes that would be included in the following versions.

### Acknowledgements

This study has been conducted using MyOcean Products. The bathymetric metadata and Digital Terrain Model data products have been derived from the EMODNet Hydrography portal - <http://www.emodnet-hydrography.eu>. Microwave OI SST data are produced by Remote Sensing Systems and sponsored by National Oceanographic Partnership Program (NOPP), the NASA Earth Science Physical Oceanography Program, and the NASA MEaSUREs DISCOVER Project. Data are available at [www.remss.com](http://www.remss.com).

### REFERENCES

- Becker, J.J., Sandwell, D.T., Smith, W.H.F., Braud, J., Binder, B., Depner, J., Fabre, D., Factor, J., Ingalls, S., Kim, S-H., Ladner, R., Marks, K., Nelson, S., Pharaoh, A., Trimmer, R., Von Rosenberg, J., Wallace, G., Weatherall, P. (2009). Global bathymetry and elevation data at 30 arc seconds resolution: SRTM30\_PLUS, *Marine Geodesy*, 32:4, 355–371.
- Bernardes, B. (2007). Hydrodynamical and ecological modelling of the North Sea. MSc dissertation thesis Technical University of Lisbon.
- Braunschweig, F., Martins, F., Leitão, P., Neves, R., (2003). A methodology to estimate renewal time scales in estuaries: the Tagus Estuary case. *Ocean Dynamics*, 53, pp. 137–145.
- Campuzano, F.J., Fernandes, R., Leitão, P.C., Viegas, C., de Pablo, H., Neves, R. (2012) Implementing local operational models based on an offline downscaling technique: The Tagus estuary case. 2.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, IH, Lisbon, Extended abstracts: 105-108.
- Campuzano, F.J., Mateus, M.D., Leitão, P.C., Leitão, P.C., Marín, V.H., Delgado, L.E., Tironi, A., Pierini, J.O., Sampaio, A.F.P., Almeida, P., Neves, R.J. (2013). Integrated coastal zone management in South America: A look at three contrasting systems. *Ocean & Coastal Management*, 72, 22-35.
- Drillet, Y., Bourdalle-Badie, R., Siefridt, L., Le Provost, C. (2005). Meddies in the Mercator North Atlantic and Mediterranean Sea eddy-resolving model. *Journal of Geophysical Research* 110(C3): C03016.
- Lyard, F., Lefevre, F., Letellier, T., Francis, O. (2006). Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004, *Ocean Dynamics*, 56, 394–415.
- Neves, R. (2013). The MOHID concept. In *Ocean modelling for coastal management - Case studies with MOHID*. Eds. M. Mateus & R. Neves, 1-11.
- Santos, A., Martins, H., Coelho, H., Leitão, P.C., Neves, R. (2002). A circulation model for the European ocean margin. *Applied Mathematical Modelling*. 26(5), 563-582.
- Saraiva, S., Pina, P., Martins, F., Santos, M., Braunschweig, F., Neves, R. (2007). Modelling the influence of nutrient loads on Portuguese estuaries. *Hydrobiologia*. 587(1), 5-18.
- Silva, A.J.R., Leitão, J.C., Dias, A., Coli, A.B., Fachin, S., Lontra, G.H. (2000). Evaluation of sediment transport processes in the Port of Fortaleza – Brazil, *Proc. of ICCE 2000, ASCE*, 3742-3754.

## Exemplos de utilização do radar altímetro Jason-2 em episódios recentes de forte agitação marítima

S. Muacho <sup>(1)</sup> e A. Lourenço <sup>(2)</sup>

(1) Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Avenida de Brasília 6, 1449-006 Lisboa.  
[sergio.muacho@ipma.pt](mailto:sergio.muacho@ipma.pt)

(2) Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Rua C- Aeroporto 1749-077 Lisboa

**Resumo:** O uso de informação altimétrica com fins operacionais, nomeadamente a altura significativa das ondas, permite a monitorização do estado do mar, sendo particularmente relevante no acompanhamento de eventos extremos. Desta forma, são apresentados exemplos da utilização de dados do radar altímetro Jason-2 em situações recentes de forte agitação marítima no Atlântico Norte.

**Palavras-chave:** Altímetro, Jason-2, Ondas

### 1. INTRODUÇÃO

Desde o final de 2013 e ao longo dos primeiros meses de 2014 (Dezembro até início de Março), a situação sinóptica no Atlântico Norte foi caracterizada pela persistência de depressões bastante intensas, na sua grande maioria originadas na região leste dos EUA. Muitas destas depressões sofreram processos de ciclogénese explosiva, de acordo com o critério de Sanders e Gyakum (1980), e a sua trajectória média ocorreu a latitudes mais baixas do que é normal (Figura 1) transportando para sul a energia das ondas.

A persistência de ventos bastante intensos ao longo de extensas regiões do Atlântico Norte conduziu à geração de ondas com valores bastante elevados de altura significativa (Hs), que atingiram o arquipélago dos Açores e, mais tarde, as Ilhas Britânicas, o Golfo da Biscaia e a costa Oeste da Península Ibérica (Figura 2).

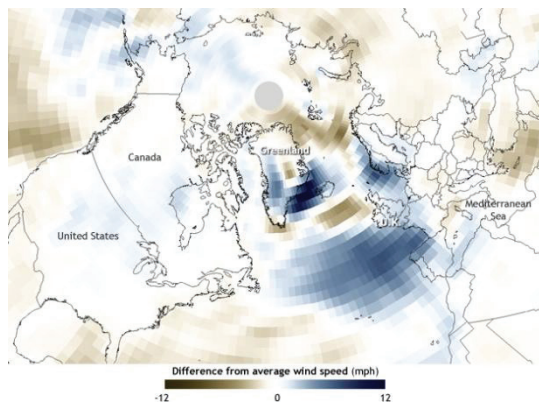


Fig.1. Anomalia da intensidade do vento no Hemisfério Norte de Janeiro a Fevereiro 2014 (1981-2010).

<http://www.climate.gov/news-features/featured-images/winter-2013-14-already-tops-2012-13-number-hurricane-force-storms>

A relevância da utilização da informação adquirida por radares altimétricos, nomeadamente do parâmetro Hs, encontra-se documentada (e.g., Janssen, 2000), sendo particularmente relevante na monitorização de eventos extremos.

Neste sentido, o presente trabalho ilustra a importância da utilização operacional de dados do satélite Jason-2 em situações recentes de forte agitação marítima no Atlântico Norte.

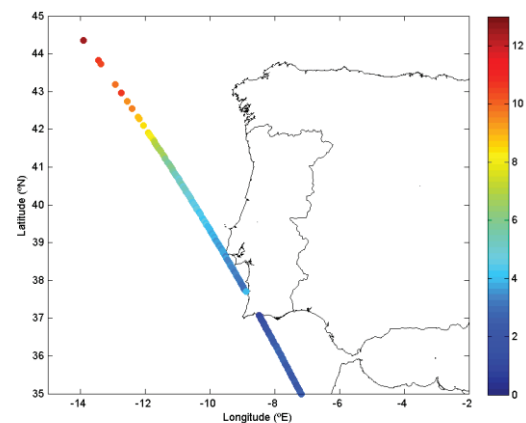


Fig.2. Estimativas de Hs obtidas a partir do satélite Jason-2 pelas 09UTC de 03.03.2014.

### REFERÊNCIAS

- Sanders, F., e Gyakum, J. R. (1980). Synoptic-Dynamic Climatology of the “Bomb”. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 1589–1606.
- Janssen, P. (2000). ECMWF wave modeling and satellite altimeter wave data. En: D. Halpern. *Satellites, oceanography and society*. Elsevier Oceanography Series, Volume 63, 35–56



# Visualização de Dados Oceanográficos em Dispositivos Móveis

R. Gomes<sup>(1)</sup>, A. Carvalho<sup>(1,2)</sup> e M. Oliveira<sup>(2)</sup>

(1) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, ei09057@fe.up.pt

(2) INESC Porto

**Resumo:** O alargamento das redes de banda larga, o aumento da velocidade de transferência de dados e o livre acesso à informação através da Internet, têm contribuído para o aumento da utilização de dispositivos móveis. Também no domínio da oceanografia operacional são ferramentas de consulta ubíqua e atualizada de produtos. Aqui, os observatórios oceanográficos assumem um papel importante na integração e disponibilização em formatos normalizados, livres e abertos, de dados de diversas instituições. O volume de dados, a combinação de informação complexa e multivariável com natureza espaço-temporal aliado à dimensão reduzida do espaço de representação, tornam a visualização de dados de oceanografia operacional num desafio. O presente trabalho propõe uma solução de visualização através da combinação de diferentes técnicas de visualização científica, que exploram propriedades gráficas, tais como a forma, cor e simbologia. A metodologia usada assenta na conceção e prototipagem funcional, seguida da avaliação dos resultados por especialistas.

**Palavras-chave:** Visualização Científica, Dados Multivariável, Dados Espaço-temporais, Dispositivos Móveis.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento e a forte expansão de dispositivos móveis, tais como os *smartphones* e os *tablets* (gartner 2013) aliado à expansão das redes de banda larga e ao aumento das velocidades de transferência de dados tornaram o acesso à informação cada vez mais simples e ubíquo. Em paralelo, nos últimos anos, assistiu-se a um aumento significativo do volume e da complexidade da informação que está acessível. A consulta de grandes volumes de informação em dispositivos móveis, normalmente com ecrãs de dimensões reduzidas, acarreta desafios devido à limitação física do espaço de representação e às imposições que estes dispositivos apresentam (capacidade de processamento e armazenamento). Surge a necessidade de adaptar a representação da informação de acordo com as condições específicas de cada dispositivo e com os objetivos de consulta da informação, pelo utilizador.

Atualmente, os observatórios oceanográficos como, por exemplo, o Observatório RAIA, integram informação científica (observada e produzida por diferentes instituições) e disponibilizam meios para o acesso livre a esses dados, de oceanografia operacional, em formatos abertos e normalizados.

O presente trabalho surge no âmbito do estudo de uma solução de visualização de informação relativa à oceanografia operacional para dispositivos móveis, que necessita de disponibilizar ao utilizador a capacidade de visualizar dados científicos complexos (multivariável com natureza espaço-temporal) de uma forma integrada, expedita e que promova a fácil leitura da informação apresentada, nomeadamente para a visualização dos resultados de modelos de previsão de condições meteorológicas e das ondas formadas por ação do vento bem como a sua evolução no espaço e no tempo.

Este trabalho materializa-se num protótipo funcional de uma aplicação móvel, que visa a possibilidade de serem realizados testes por utilizadores finais e outros *stakeholders*, de modo a aferir a eficácia da solução de visualização de informação e a sua integração numa aplicação final.

## 2. PROBLEMA

A representação de informação em dispositivos móveis é severamente limitada pelas limitações físicas, a destacar: a reduzida dimensão da área disponível para a visualização e para a interação, a capacidade de processamento e armazenamento. Adicionalmente, os produtos de previsão de condições meteorológicas e oceanográficas são exigentes relativamente à transferência de dados, devido à multiplicidade de variáveis existentes e da sua correlação, o que torna indispensável a sua representação simultânea. A natureza espacial e temporal dos dados torna também necessária uma visualização integrada, no sentido de maximizar a extração visual de conhecimento. Face a estas observações, identificou-se um desafio ao nível da visualização científica de dados de oceanografia operacional, que integre múltiplos temas, em dispositivos móveis e que potencie a interpretação e análise visual dos resultados.

## 3. ESTADO DA ARTE

Esta secção descreve o trabalho relacionado considerando o desafio científico apresentado no final da secção anterior, relativo a um problema de visualização científica de dados oceanográficos espaço-temporais multivariáveis. Foi realizado um levantamento das técnicas e soluções de representação visual de informação mais utilizadas na área da Oceanografia Operacional.



Na representação visual das condições oceanográficas foram identificadas conjuntos de técnicas relativos à representação de: temperaturas, intensidades e direções (ventos e correntes), alturas e períodos (ondas), entre outras consideradas menos relevantes para este trabalho.

As secções seguintes descrevem o trabalho relacionado relativo a estes conjuntos de técnicas.

### 3.1 Vento

O vento é um fenómeno relevante para a caracterização de condições meteorológicas ótimas para a prática de desportos náuticos, devido à influência que exerce sobre a formação e rebentação das ondas do mar na costa (douglass 1990). Para representar o vento é essencial evidenciar na visualização dois dos seus atributos: a sua intensidade, que se traduz num valor escalar, e a sua direção, que pode ser representada vetorialmente. Para representar este fenómeno foram já propostas várias técnicas, tais como: vetores, mapa de cores, fluxos e *wind barbs* (ware 2009a). O uso de vetores para representação do vento tem, normalmente, associado um mapa de cores como fundo da representação. Esta combinação deve-se ao facto de se conseguir expressar a direção do vento através da orientação dos vetores, assim como visualizar as diferentes intensidades utilizando o mapa de cores, onde cada cor está associada a uma escala de valores possíveis (agbm 2014). Outra técnica, os *wind barbs*, faz uso de símbolos para representar simultaneamente direção e intensidade. A Figura 1 ilustra símbolos de *wind barbs*, onde a direção do vento é dada pela orientação das hastes ou bandeira até à ponta da linha e a velocidade do vento (indicada em nós), é representada pelas hastes. Cada haste representa 10 nós, e cada meia haste representa 5 nós. Uma bandeira representa 50 nós.

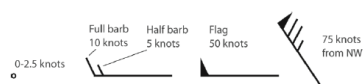


Figura 1: *Wind barbs*, uma representação do vento, de uso generalizado na meteorologia e na oceanografia.

A vantagem do uso de *wind barbs* reside no facto de, com apenas um símbolo, ser possível representar duas variáveis de natureza espaço-temporal (a direção e a intensidade).

No entanto, a compactação da informação nesta simbologia, assim como o desenho da mesma, pode não ser a forma mais eficaz, se considerarmos que este nível de representação pode estar acumulado com outros níveis, tornando a sua análise visual pouco perceptível e intuitiva. Segundo Pilar e Ware (pilar 2013), um observador destreinado pode ter dificuldade de interpretação de *wind barbs*: por exemplo, considerar que a direção é representada pelas hastes ou bandeirolas, que é o espaço mais pregnante no símbolo. De acordo com estes autores existem outros métodos desenvolvidos que

apresentam uma melhoria significativa em relação aos *wind barbs* conseguidos através da variação de pesos de linha, graus de contraste ou tamanho de glifos. De referir os trabalhos de Ware, Mitchell e Kelley (ware 2009a) e de Fowler e Ware (fowler 1989).

Outra forma de visualização do vento é a representação sob a forma de fluxos ou *streamlines*, que se caracteriza pelo uso de animação com o objetivo de representar a ideia de movimento do vento. Trata-se de uma representação dinâmica, por contraste com as representações anteriores.

O uso de movimento na visualização pode ser um elemento com boas capacidades de associação visual e discriminação entre diferentes variáveis, como é sugerido por Bartram e Ware (bartram 2002). A Figura 2 apresenta uma visualização criada por Beccario (beccario 2014), que contém a visualização de ventos pelo método de representação de fluxos.

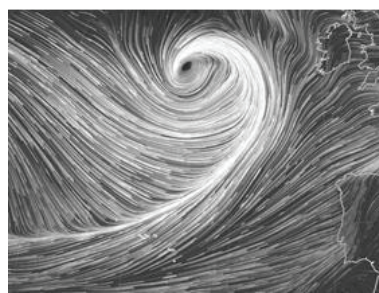


Figura 2: Mapa de ventos com técnica de fluxos (beccario 2014).

O exemplo da Figura 2, apresenta a visualização do movimento do vento para a zona do Oceano Atlântico que banha a costa portuguesa. Apesar de a imagem constituir um *snapshot* de uma representação dinâmica é facilmente extraída informação sobre o estado e movimentação do vento, onde uma maior velocidade está associada a uma maior densidade de fluxos. Além de uma percepção intuitiva da velocidade do vento num dado local, a sua direção e orientação são extraídas facilmente através da representação de movimento. Com *wind barbs*, a representação do ciclone (Figura 2) apresentar-se-ia visualmente mais sobrecarregada, dificultando a aferição de padrões (pilar 2013).

### 3.2 Temperatura

A temperatura é outro fenómeno relevante relativo à caracterização dos oceanos na perspetiva de alguns desportos náuticos. Nas técnicas de visualização científica, a temperatura é vulgarmente representada por mapa de cores, sendo a forma de visualização mais utilizada tanto ao nível da meteorologia como da oceanografia (ware 2012). A codificação de valores de temperatura é realizada através de uma escala contínua (gradientes) de cores. É frequentemente associada cores “frias” (tons de azul) a temperaturas baixas, e cores “quentes” (tons de vermelho) a temperaturas mais elevadas (ware 2012).

### 3.3 Altura, período e direção das ondas

A altura, período e direção das ondas são outros fenômenos relevantes para a caracterização dos oceanos. Para estas variáveis, a forma mais comum de representar é: (a) através de mapa de cores, para a altura das ondas; (b) flechas para a direção das ondas e; (c) texto para o período das ondas. Estas variáveis podem ser representadas de uma forma não integrada. No entanto, esta abordagem compromete a correlação espaço-temporal entre as variáveis. Baseado no pressuposto de Ware (ware 2009b) se duas ou mais variáveis podem ser combinadas numa só imagem, o mapa resultante pode facilitar a comparação e inter-relação dessas variáveis, assumindo que as variáveis em questão conseguem ser percebidas independentemente.

### 3.4 Processamento Visual Pré-Atentivo

Adicionalmente ao levantamento realizado sobre a representação de dados de oceanografia operacional, foi também realizado um levantamento relativo a técnicas de processamento visual pré-atentivo.

A utilização de elementos pré-atentivos no modelo de visualização de informação pode então ser uma ferramenta muito útil para a organização de elementos gráficos de forma garantir uma procura visual imediata de determinado alvo. A orientação, cor, forma e tamanho são elementos que podem ser exploráveis, permitindo que determinadas variáveis sejam representadas.

Esta é uma área que surge do estudo e investigação efetuadas na área da psicologia e da visão humana, como forma de compreender como é que o sistema visual humano analisa imagens. Segundo Healey, Booth e Enns (healey 1993) existem propriedades visuais que são processadas pelo sistema visual pré-atentivo. Segundo estes autores uma tarefa de pesquisa visual é pré-atentiva quando consegue ser realizada sobre a visualização de um grande número de elementos, em tempos inferiores a 200 milissegundos. De salientar que o tempo associado à pesquisa visual é independentes do número de elementos visuais que estão a ser apresentados. Na Figura 3 apresenta um exemplo de pesquisa visual pré-atentiva. Neste exemplo, a tarefa de pesquisa visual consiste na deteção de um círculo cheio dentro de um conjunto de outros elementos. Define-se que todos os objetos que não sejam o alvo da procura como os distratores.

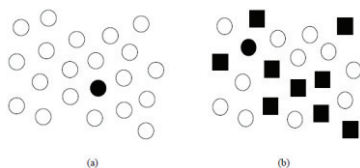


Figura 3: Exemplo duas tarefas de deteção: pelo sistema visual pré-atentivo (healey 1996).

Como se pode observar na Figura 3a todos os objetos distratores são círculos vazios e o objeto-

alvo tem então uma característica visual única que o distingue. Assim é possível detetar de forma pré-atentiva o objeto alvo. Por contraste, na Figura 3b, o objeto alvo já partilha de características comuns com outros objetos distratores. Por conseguinte, impossibilita a pesquisa pré-atentiva.

O uso de processamento visual pré-atentivo numa visualização pode permitir que o acesso visual a certas variáveis seja feito de forma imediata, aumentando e otimizando a eficácia visual da mesma.

## 4. VISUALIZAÇÃO DE DADOS DE OCEANOGRAFIA OPERACIONAL

Na sequência do levantamento de trabalho relacionado, apresentado nas secções anteriores, a Figura 4 ilustra a solução proposta para responder às necessidades de visualização integrada de dados oceanográficos espaço-temporais multivariáveis em dispositivos móveis.

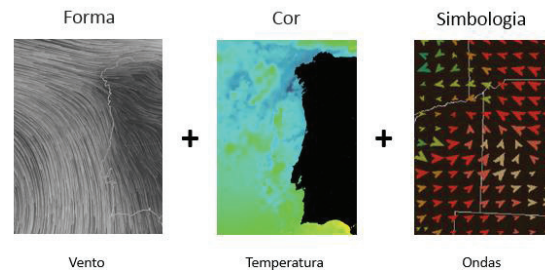


Figura 4: Ilustração da hipótese proposta, uma combinação de diferentes representações de forma, cor e simbologia.

Na Figura 4 é possível observar os três tipos de representações que são combinadas para criar a visualização integrada presente na Figura 5.

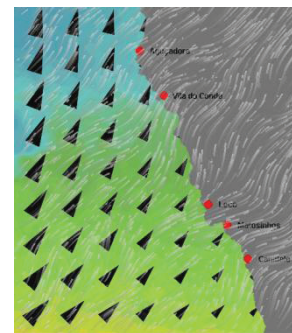


Figura 5: Visualização proposta com a combinação de forma, cor e simbologia.

Com vista a integrar estes dados oceanográficos espaço-temporais multivariáveis, utilizou-se combinações de forma, de cor, de simbologia e de texto. A forma está associada à representação do vento, tanto na sua intensidade como direção, onde o efeito é conseguido através do recurso a fluxos animados. A mesma técnica poderia ser aplicada a outros fenômenos como, por exemplo, correntes. No entanto, para uma mesma representação, a combinação simultânea de dois elementos dinâmicos pode introduzir confusão visual.

Nesta solução, o uso da cor está associado a temperatura à superfície do mar, através do uso de um mapa de cores com uma escala própria associada.

Para a representação da altura das ondas é utilizada a representação com recursos à simbologia, por oposição ao método de visualização utilizado pelo Instituto Hidrográfico (hidrográfico 2014) onde esta variável é representada por um mapa de cores.

A simbologia acumula ainda a representação visual de outras grandezas, designadamente, a direção da onda, mapeada com a orientação do símbolo. O símbolo usado (triângulo) permite uma consulta/pesquisa visual simplificada, quando confrontada com outros símbolos potencialmente alternativos.

## 5. CONCLUSÕES

O presente estudo encontra-se em fase de avaliação de resultados. Para este efeito encontra-se desenvolvido um protótipo funcional que será usado por utilizadores finais e *stakeholders*, com o objetivo de aferir a eficácia da solução de visualização científica proposta.

Tem-se como hipótese deste estudo que a aplicação de métodos de visualização de dados multivariáveis e de métodos de cognição visual pré-ativa possibilitem uma maior acumulação de dados numa área de representação limitada, como a dos dispositivos móveis, conseguindo de forma eficaz a extração visual de conhecimento.

Para validar a hipótese apresentada definiram-se os seguintes objetivos, que devem ser cumpridos:

- visualização integrada de dados oceanográficos espaço-temporais multivariáveis adaptada às limitações inerentes dos dispositivos móveis;
- maximização da eficiência na representação de dados e eficácia na extração de conhecimento pelo público-alvo.
- definição de um método de visualização de referência para aplicações móveis que necessitem de visualizar dados de oceanografia operacional.

Atualmente, o protótipo permite observar que, através da aplicação das técnicas propostas, conjugada com uma combinação de transparência, é possível a representação de múltiplas variáveis (vento, temperatura, altura, período e direção da onda) assegurando a não sobreposição de propriedades visuais e, deste modo, a leitura e extração de conhecimento pretendida.

### Agradecimentos

Este trabalho é financiado por fundos FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade (COMPETE) e por fundos Nacionais através da Fundação para a Ciência e Tecnologia- FCT (projeto 0520\_RAIA\_CO\_1\_E).

## REFERÊNCIAS

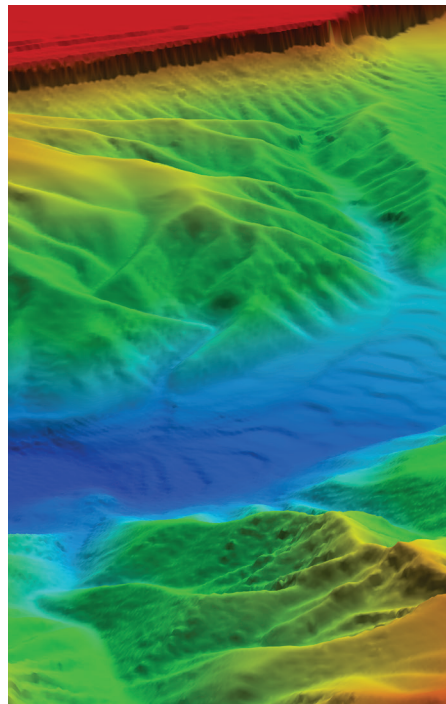
- AGBM, (2014). Australian Government Bureau of Meteorology, Marine Wind Forecast, Fevereiro 2014. Disponível em <http://www.bom.gov.au/marine/wind.shtml>, acessado em 06.02.2014.
- Bartram, L. and Ware, C., (2002). Filtering and Brushing with Motion. *Information Visualization*, 1(1): 66-79.
- Beccario, C., (2014). Earth Wind Map, Fevereiro 2014. Disponível em <http://earth.nullschool.net>, acessado em 07.02.2014.
- Douglass, S. L. (1990). Influence of wind on breaking waves. *J. of waterway, port, coastal, and ocean eng.*, 116(6): 651-663.
- Fowler, D., and Ware, C., (1989). Strokes for Representing Univariate Vector Field Maps. *Proc. Graphics Interface*, pp. 249-253.
- Gartner (2013). Worldwide Smartphone Sales to End Users by Operating System in 3Q13, Fevereiro 2014. Disponível em <http://www.gartner.com/newsroom/id/2623415>, acessado a última vez a 11.02.2014.
- Healey, C. G., Booth, K. S. and Enns, J. T. (1993). Harnessing preattentive processes for multivariate data visualization. In *Proceedings Graphics Interface'93. Canadian Information Processing Society*, pp. 107-117.
- Healey, C. G., Booth, K. S. and Enns, J. T. (1996). High-speed visual estimation using preattentive processing. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 3(2): 107-135.
- Hidrográfico (2014). Instituto Hidrográfico da Marinha de Portugal. Previsão de Surf Zona do Porto, Fevereiro 2014. Disponível em <http://www.hidrografico.pt/previsao-surf-porto.php>, acessado em 6 de Fevereiro de 2014.
- Pilar, D. H. F. and Ware, C., (2013). Representing Flow Patterns by Using Streamlines with Glyphs. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(8): 1331-1341.
- Ware, C., Mitchell, P., and Kelley, J. (2009a). Investigating flow visualizations using interactive design space hill climbing. *IEEE International Conf. on Systems, Man and Cybernetics*. SMC 2009.
- Ware, C., (2009b). Quantitative texton sequences for legible bivariate maps. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 15(6): 1523-1530.
- Ware, C. and Plumlee, M. (2012). Designing a better weather display. In *IS&T/SPIE Electronic Imaging*. International Society for Optics and Photonics, 201: pp. 829409-829409.

# OCEANOGRAFIA FÍSICA

---

3.<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica  
Lisboa, 24, 25 e 26 de junho de 2014

---







## Desenvolvimentos recentes do HIDRALERTA - sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias

C.Fortes<sup>(1)</sup>, J. Santos<sup>(2)</sup>, M.Reis<sup>(1)</sup>, P. Poseiro<sup>(1)</sup>, R. Capitão<sup>(1)</sup>, L. Pinheiro<sup>(1)</sup>, J. Craveiro<sup>(1)</sup>, A. Sabino<sup>(3)</sup>, A. Rodrigues<sup>(3)</sup>, J. Ferreira<sup>(4)</sup>, P. Raposeiro<sup>(4)</sup>, S. Silva<sup>(4)</sup>, E. Lopes<sup>(4)</sup>, C. Silva<sup>(4)</sup>, A. Simões<sup>(5)</sup>, E. Azevedo<sup>(6)</sup> e M. Rodrigues<sup>(6,7)</sup>

- (1) LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, jfortes@lneec.pt  
 (2) ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa  
 (3) CITI, Departamento de Informática, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNL  
 (4) Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNL, CENSE – Center for Environmental and Sustainability Research  
 (5) Universidade dos Açores, LAMTEC  
 (6) Universidade dos Açores, Centro de Estudos do Clima, Meteorologia e Mudanças Globais  
 (7) Azorina – Sociedade de Gestão Ambiental e Conservação da Natureza, SA

**Resumo:** Nesta comunicação descrevem-se os desenvolvimentos recentes do sistema HIDRALERTA, de previsão, alerta e avaliação de risco associado ao galgamento e inundações em zonas costeiras e portuárias. O sistema tem como ideia-base a utilização de previsões da agitação marítima para avaliar os efeitos dos galgamentos/inundações, recorrendo à modelação numérica, redes neuronais e/ou fórmulas empíricas. O sistema permite: a avaliação, em tempo real, de situações de emergência e a consequente emissão de alertas às entidades competentes; e a avaliação do risco, produzindo-se mapas de risco para apoio ao processo de tomada de decisão. Trata-se de um sistema modular que está a ser desenvolvido em linguagem *Python* e implementado numa plataforma WebGIS. Neste momento, estão em implementação dois protótipos deste sistema: o porto da Praia da Vitória e a praia de S. João da Caparica.

**Palavras-chave:** HIDRALERTA, Alerta, Risco, Galgamentos/inundações, Praia da Vitória, Costa da Caparica

### 1. INTRODUÇÃO

Encontra-se em desenvolvimento, desde 2012, o sistema HIDRALERTA (Neves *et al.*, 2012 e Poseiro *et al.*, 2013a, Fortes *et al.*, 2013). Trata-se de um sistema de previsão, alerta e avaliação de risco associado ao galgamento e inundações em zonas costeiras e portuárias, a partir de medições/previsões da agitação marítima ao largo. Estão a ser construídos dois protótipos: porto da Praia da Vitória e praia de S. João da Caparica.

A ideia base do sistema é a utilização de previsões/medições de agitação marítima ao largo para a determinação dos efeitos em termos de valores de galgamento e/ou de cotas de inundações em áreas específicas, recorrendo a modelos numéricos, redes neuronais e fórmulas empíricas. A comparação destes valores com valores máximos pré-estabelecidos permite: i) a avaliação, em tempo real, de situações de emergência e a emissão de alertas às entidades competentes sempre que se preveja estar em causa a segurança de pessoas, bens ou atividades desenvolvidas; e ii) a construção de mapas de risco, considerando séries temporais longas de previsões da agitação marítima ou cenários pré-definidos associados às mudanças climáticas e/ou eventos extremos.

Este sistema é uma ferramenta de apoio ao planeamento e gestão de zonas costeiras e portuárias. Com efeito, este contribui para a identificação de situações de emergência, o que permite, atempadamente, a adoção por essas entidades de medidas para evitar perdas de vidas e minimizar prejuízos económicos e ambientais. Além disso, a sua componente de gestão a longo prazo permite simular cenários futuros relacionados com as mudanças devidas às alterações climáticas. Saliente-se que as ferramentas desenvolvidas, tradicionalmente,

possibilitavam já o zonamento ponderado de riscos (projetando e localizando tendências de evolução de fatores potencialmente danosos), como ainda experimentado para a zona da Costa da Caparica (Craveiro *et al.*, 2012), mas não permitiam atender a avaliações de emergência em tempo real.

O sistema é constituído por 4 módulos (Fig. 1): I – Características da Agitação Marítima; II – Galgamento/Inundação; III – Avaliação do Risco, e IV - Sistema de Alerta.



Fig. 1. Esquema do sistema HIDRALERTA

O sistema está a ser desenvolvido em linguagem *Python* e implementado numa plataforma *WebGIS*.

No presente trabalho, e no seguimento de Fortes *et al.* 2013, descreve-se sucintamente os módulos do sistema HIDRALERTA e os desenvolvimentos recentes que têm vindo a ser realizados, nomeadamente aos dois casos de aplicação.

### 2. O SISTEMA HIDRALERTA

#### 2.1 Características da agitação marítima

O objetivo deste módulo é a determinação das características da agitação marítima em zonas costeiras e portuárias a partir das respetivas condições ao largo. Estas características podem ser obtidas através de previsões de modelos regionais, até 180 horas, o que constitui a base do sistema de alerta, ou

através da síntese de regimes de agitação marítima locais já existentes, necessários para a avaliação do risco de galgamentos e inundações.

Neste módulo são utilizados vários modelos numéricos, nomeadamente: o modelo de previsão da agitação marítima à escala regional, WaveWatch III (Tolman, 1999); o modelo espectral não linear de geração e propagação de ondas em zonas costeiras, SWAN (Booij *et al.*, 1999); o modelo linear de propagação de ondas em zonas portuárias, DREAMS (Fortes, 2002); e o modelo de Boussinesq BOUSS\_WMH, Pinheiro *et al.* (2011).

Na componente de alerta, o sistema faz diariamente o *download*, a partir do *Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center* (FNMOC), das características da agitação marítima ao largo previstas com o modelo WaveWatch III (180 horas seguintes, com intervalo de 3 horas). Estes valores são transferidos para junto à costa com o modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999) e, no caso de se tratar de zonas portuárias, são ainda aplicados os modelos DREAMS ou BOUSSWMH, consoante haja necessidade de considerar um modelo linear ou não linear, respetivamente. Estes dois últimos modelos consideram o efeito de reflexão no interior das bacias portuárias.

Para a avaliação do risco, em vez de previsões de agitação marítima, o sistema utiliza séries temporais longas estimadas pelo modelo WaveWatch III para o largo, as quais são depois transferidas para a costa, tal como acontece no sistema de alerta, com os modelos SWAN, DREAMS ou BOUSSWMH.

Os desenvolvimentos recentes deste módulo do sistema consistem em:

- a) Automatizar o processo de *download* (Poseiro *et al.*, 2013a) dos dados referentes à agitação marítima, com o modelo de previsão WaveWatch III (FNMOC) e a inclusão do modelo WAM (ECMWF) para o mesmo efeito, das marés, com o modelo WXTide, e dos ventos, fornecidos pelo modelo NAVGEM (FNMOC) e também pelo modelo WAM (ECMWF);
- b) Acoplar os modelos WWIII/WAM, SWAN e DREAMS, e validar cada modelo, bem como o seu acoplamento, através da comparação com medições efetuadas *in situ*. Para esse efeito foi efetuada uma campanha de medição de agitação marítima em 29 e 30 de outubro de 2012 e uma campanha de levantamento de perfis de praia em 29 e 30 de abril de 2014 na zona da Costa de Caparica; c) Automatizar os processos de criação dos *layouts* gerados por cada um dos modelos numéricos, bem como dos ficheiros que indicam os valores obtidos para cada parâmetro em pontos específicos.

Está em curso o desenvolvimento de uma rede neuronal do tipo ARTMAP com lógica Fuzzy (Santos 2013) para determinação de condições de agitação marítima à entrada de portos e no seu interior, que tem uma grande eficiência computacional e que poderá, em certos casos, substituir a utilização dos

modelos numéricos.

## 2.2 Galgamento/inundação

O objetivo deste módulo é a determinação do espraçamento, inundação e galgamentos em áreas costeiras e infraestruturas portuárias. Pretende-se estimar os valores da cota de inundação ou do caudal médio galgado correspondentes a uma dada condição de agitação marítima prevista ou observada utilizando o módulo I do sistema.

Para o cálculo da inundação em zonas costeiras, sem e com estruturas de proteção, utilizam-se fórmulas empíricas da literatura que estimam o espraçamento e/ou o galgamento, Fortes *et al.* (2013). A cota de inundação é obtida pela soma do espraçamento com o nível de maré.

Para o caso de galgamento de zonas com estruturas (portuárias), recorre-se à ferramenta de redes neuronais artificiais NN\_OVERTOPPING2 (Coeveld *et al.*, 2005) que fornece o caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura.

Os desenvolvimentos recentes consistiram na realização de programas em *Fortran* para a implementação das fórmulas empíricas, de modo a realizar-se o acoplamento destas fórmulas e da ferramenta neuronal com os modelos numéricos, bem como a visualização automática dos resultados. A nova rede neuronal do tipo ARTMAP com lógica Fuzzy para o cálculo do galgamento de estruturas marítimas (Santos, 2013) está a ser desenvolvida com o intuito de vir a ser uma alternativa à ferramenta NN\_OVERTOPPING2, sobretudo para pequenos caudais. Foram ainda desenvolvidas novas formulações de espraçamento e galgamento para o caso de estruturas localizadas em zonas de águas pouco profundas ou com o pé da estrutura essencialmente acima do nível de água, Mase *et al.*, 2013, que poderão ser incorporadas no sistema.

## 2.3 Avaliação do risco

A avaliação do risco de galgamento e inundação de zonas costeiras e portuárias é baseada na determinação do grau de risco, resultante do produto do grau de probabilidade associado à ocorrência de galgamento/inundação acima de um certo limiar pré-estabelecido pelo grau de consequências associado aos prejuízos desse acontecimento.

O estabelecimento do limiar para o galgamento/inundação resulta da avaliação da natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada pela estrutura e do impacto do galgamento/inundação na segurança de pessoas e infraestruturas. Tal avaliação passa pela obtenção do máximo de informação da zona em estudo, no que diz respeito à distribuição espacial das pessoas, edifícios, infraestruturas, vias de comunicação, vegetação, modelo digital de superfície, etc. Tem sido realizado um trabalho importante para a obtenção da maior informação possível dos locais de estudo. Os limites de caudal de galgamento são definidos com base nas

diretivas existentes (Pullen *et al.*, 2007), que levam em conta a natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada pela estrutura, o perfil da estrutura galgada e a necessidade de garantir a segurança de pessoas e infraestruturas localizadas nessa zona.

As consequências dos galgamentos/inundações têm sido estimadas com uma metodologia que permite avaliar de forma quantitativa e qualitativa o grau de consequências de acontecimentos perigosos na zona em estudo (Raposeiro *et al.*, 2010). A determinação da perigosidade, da vulnerabilidade e do risco na Costa da Caparica (litoral arenoso com e sem estruturas) tem sido efetuado com recurso a uma base de dados georreferenciada e à análise multicritério. Na Praia da Vitória foi implementada uma metodologia (Poseiro *et al.*, 2013b) que permite analisar espacialmente, classificar e atribuir pesos a cada uma das vertentes que caracterizam uma dada zona de estudo, através da aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) que consiste no desenvolvimento de um índice espacial de pressão antrópica (Antunes, 2012).

#### 2.4 Sistema de alerta

O objetivo deste módulo é a identificação, em tempo real, das situações de emergência para uma determinada área de interesse e o envio automático de mensagens de alerta para as autoridades responsáveis. Cada um destes passos corresponde a uma componente do módulo.

Na componente de identificação de situações de emergência, parte-se do princípio que estas ocorrem sempre que o limiar de galgamento/inundação, em cada secção das estruturas/praias analisadas, é ultrapassado. Os resultados desta componente são gráficos, mapas e relatórios que são depois transmitidos à componente de interação com o utilizador para que este proceda à avaliação da situação.

A componente de interação com o utilizador é materializada numa aplicação *web*, na qual todo o sistema de alerta está parametrizado (Sabino *et al.*, 2014). A aplicação está desenhada para ser utilizada em *browsers* tradicionais e móveis, adequando a informação às características do dispositivo cliente.

Os desenvolvimentos recentes consistiram na construção, em *Python*, de um conjunto de *scripts* que acoplam todos os modelos e automatizam todos os procedimentos para o funcionamento do sistema. Por outro lado, a parte *web* está a ser concebida com recurso a ferramentas de domínio público: a plataforma de desenvolvimento *web Django (Python)*, para o componente de interação; e o sistema de gestão de base de dados *PostgreSQL* (com a extensão espacial *PostGIS*), permitindo oferecer visualizações através de mapas. O sistema de alerta inclui ainda uma base de dados intermédia que relaciona as localizações de áreas de risco e sensores com os dados coletados pelos sensores, os resultantes de transferências de dados e os resultados de processos de avaliação de galgamentos/inundações.

### 3. APLICAÇÕES DO SISTEMA

#### 3.1 Porto da Praia da Vitória

O porto de Praia da Vitória situa-se na costa Este da ilha Terceira, no arquipélago dos Açores (Figura 2). Os dois molhes que protegem o porto definem uma bacia portuária com cerca de 1 km x 2 km.

Para este porto, o sistema foi aplicado quer na sua vertente de avaliação de risco (módulos I, II e III) de galgamento, ao longo da baía da Praia da Vitória, com a construção de mapas de risco, quer na sua vertente de sistema de alerta (módulos I, II e IV). A título de exemplo, apresentam-se na Fig 2 os resultados do sistema de alerta nos diferentes módulos I, II e IV e na Fig. 3 os resultados do módulo III, que inclui o mapa de consequências com a metodologia AHP.

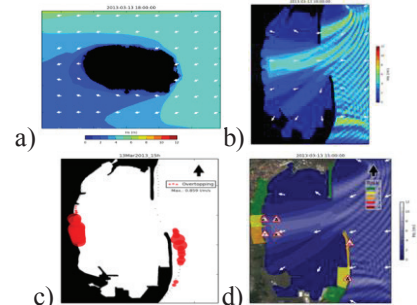


Fig. 2. Exemplo dos Layouts gerados pelo sistema de alerta por a) Módulo I – SWAN; b) Módulo I – DREAMS; c) Módulo II – NN\_OVERTOPPING2; d) Módulo IV – Mapa de Alerta

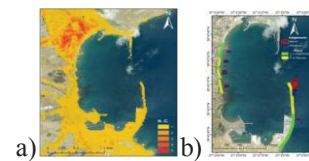


Fig. 3. Exemplo dos Layouts do sistema de avaliação do risco: a) Mapa de vulnerabilidade (consequências); b) Mapa de risco

#### 3.2 Zona da Costa de Caparica

A praia de São João da Caparica localiza-se no extremo norte da Costa da Caparica, município de Almada. Esta praia em estudo tem um comprimento de 1380 m e está confinada entre dois esporões. Neste ano de 2014, a Costa de Caparica foi alvo de forte agitação marítima que causou grandes danos nas estruturas e nas praias, para além de ter posto pessoas em risco.

De seguida, ilustra-se, a título de exemplo, a aplicação do sistema de alerta durante o dia 2014-02-02, altura em que ocorreu uma violenta tempestade que causou inundações significativas na Costa de Caparica. Na Figura 4 está representado um exemplo dos *Layouts* obtidos pelo módulo I (SWAN), para aquele dia às 0 h e os correspondentes níveis de alerta, módulo IV.

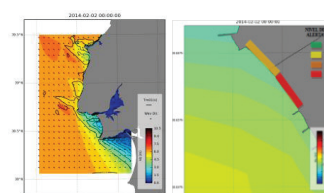


Fig. 4. Layouts obtidos pelos módulos I e IV do sistema HIDRALERTA para as 0h do dia 02/02/2014



#### 4. CONCLUSÃO

Esta comunicação descreve os recentes desenvolvimentos do sistema HIDRALERTA, implementado em ambiente *WebSIGs*. De entre os resultados obtidos destaca-se a implementação do protótipo da componente de alerta do sistema no porto da Praia da Vitória e na zona da Costa de Caparica e a implementação do protótipo da componente de avaliação do risco no caso do porto da Praia da Vitória. Note-se que a metodologia está a ser aplicada a outros locais: Ponta Delgada (ilha de São Miguel, Açores), Sines e Praia da Galé.

Prevê-se que o trabalho futuro envolva as seguintes atividades: a) a substituição de DREAMS pelo BOUSS\_WMh; b) a realização de ensaios em modelo físico de estruturas-tipo para medição do espraiamento e caudais galgados, para serem utilizados na avaliação do desempenho de ferramentas empíricas, neuronais ou numéricas; c) a utilização do modelo SBEACH em praias; c) o aperfeiçoamento da metodologia de construção de mapas de consequências; d) a criação de mapas que ilustrem a distribuição espacial dos volumes galgados, e que permitam ser cruzados/complementados com mapas de consequências, de modo a obter-se mapas de risco de ocorrência de galgamentos/inundações mais completos; e) a definição de níveis (*thresholds*) de acionamento de alertas de forma mais informada e específica dos locais de estudo; f) a aplicação do sistema a outros portos portugueses; g) a extensão deste sistema à navegação.

#### AGRADECIMENTOS

Agradece-se à FCT o financiamento do projeto HIDRALERTA, ref. PTDC/AAC-AMB/120702/2010. Agradece-se também o apoio dos Portos dos Açores, da Câmara Municipal de Praia da Vitória, da APL (Teresa Sá Pereira), à FCUL (C. Antunes), do Sr. Carlos Manuel do Restaurante Pé Nú e de P. Neves, T. Rocha, J. Antunes do Carmo e F. Taveira Pinto.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antunes, Ó. 2012. Análise Multicritério em SIG para Determinação de um Índice Espacializado de Pressão Antrópica Litoral. Casos de Espinho, Caparica e Faro. MsC Th, FCSH- UNL.
- Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H., 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *JGR*, C4, 104:7649-7666.
- Coeveld, E.M., Van Gent, M.R.A.; Pozueta, B. (2005). *Neural Network Manual NN\_OVERTOPPING2*. CLASH WP8, junho.
- Craveiro, J.L., Antunes, O., Freire, P., Oliveira, P., Almeida, I.D., Sancho, F. (2012). Comunidades Urbanas na Orla Costeira: a Metodologia Multicritério AHP (Analytic Hierarchy Process) para a Construção de um Índice de Vulnerabilidade Social face à Ação Marítima. *2º Cong. Ibero-Americano de Respons. Social*, 25a27OUT2012. ISEG, Fortes, C.J.E.M. (2002). *Transformações Não Lineares de Ondas em Zonas Portuárias. Análise pelo Método dos Elementos Finitos*. PhD Th., IST.
- Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T., Poseiro, P., Capitão, R., Santos, J.A., Pinheiro, L.P., Rodrigues, A., Sabino, A., Rodrigues, M.C., Raposeiro, P., Ferreira, J.C., Silva, C., Simões, A., Azevedo, E.B. (2013). O Projeto HIDRALERTA. Sistema de Previsão e Alerta de Inundações em Zonas Costeiras e Portuárias. 8<sup>as</sup> JPECP, LNEC, 10 e 11 de outubro.
- Mase, H., Tamada, T., Yasuda, T., Hedges, T.S., Reis, M.T. (2013). Wave runup and overtopping at seawalls built on land and in very shallow water. *JWPCOE*, Vol. 139(5), pp. 346-357.
- Neves, D.R., Santos, J.A., Reis, M.T., Fortes, C.J.E.M., Simões, A., Azevedo, E.B., Rodrigues, M.C. (2012). Metodologia de avaliação do risco associado ao galgamento de estruturas marítimas. Aplicação ao porto e à baía da Praia da Vitória, Açores, Portugal. *RGCI*, 12(3), 291-312.
- Pinheiro, L., Fortes, C.J.E.M., Santos, J.A., Fernandes, L., Walkley, M. (2011). Boussinesq-type numerical model for wave propagation near shore and wave penetration in harbors. *MARTECH 2011*, 10 a 12 de maio, Lisboa.
- Poseiro, P., Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T., Santos, J.A., Simões, A., Rodrigues, C., Azevedo, E. (2013a). A methodology for overtopping risk assessment in port areas: Application to the Port of Praia da Vitória (Azores, Portugal). *Proc. SCACR 2013*, 4 a 7 de junho, LNEC, Portugal.
- Poseiro, P., Fortes, C.J.E.M., Santos, J.A., Reis, M.T., Craveiro, J. (2013b). Aplicação do processo de análise hierárquica (AHP) à análise das consequências de ocorrência de galgamentos. O caso da baía da Praia da Vitória. 8<sup>as</sup> JPECP, 10 e 11 de outubro.
- Pullen, T., Allsop, N.W.H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schuttrumpf, H., Van der Meer, J.W. (2007). *EurOtop: Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual*. Environment Agency, UK, Exper. Net. Water., NL, Kuratorium fur Fors. im Kustening., DE, August.
- Raposeiro, P.D., Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T., Ferreira, J.C. (2010). Development of a methodology to evaluate the flood risk at the coastal zone. In *Geographic Tech.s Applied to Mar. Spatial Plan. and Int. Coastal Zone Manag.*, 129-137.
- Sabino, A.; Rodrigues, A.; Araújo, J.; Poseiro, P.; Reis, M. T.; Fortes, C. J. E. M. (2014). *Wave Overtopping Analysis and Early Warning Forecast System*, ICCSA 2014, Guimarães.
- Santos, F.L (2013). *Redes neurais artificiais artmap-fuzzy aplicadas ao estudo de agitação marítima e ondas de lagos*. PhD Th. FEIS, UNESP, Brasil.
- Tolman, H. (1999). *User Manual and System WAVEWATCH-III Documentation .v1.18* NOAA/NWS/NCEP/OMB Tech.Note 166:110p., (EUA).

## Análise e previsão de marés com recurso a Excel

C. Lopes da Costa<sup>(1)</sup>

(1) Escola Naval, Marinha, carlos.lopes.costa@marinha.pt

**Resumo:** Foi elaborado e posto a funcionar em Excel o cálculo de: fatores nodais e argumentos astronómicos de 31 harmónicas de maré; análises harmónicas por métodos de mínimos quadrados e por séries de Fourier; previsão harmónica de marés. A análise harmónica, pelos dois métodos, é testada com uma série temporal de 29 dias. É complementada com: a inferência de 16 harmónicas adicionais, a partir das 10 separadas; correções a fases e amplitudes de  $K_1$  devidas a  $P_1$  e de  $S_2$  devidas a  $K_2$  e  $T_2$ ; a descontaminação das influências entre constituintes, dentro dos grupos diurnos e semidiurnos. Chegaram-se a resultados precisos para os argumentos astronómicos e fatores nodais das constituintes e também nas previsões de marés. As constantes harmónicas, resultantes das análises, embora consistentes, não revelam a exatidão desejada, por resultarem de escassos 29 dias de dados, pequena duração comparativamente aos 365 dias recomendados.

**Palavras chave:** marés, análise harmónica e previsão.

### 1. INTRODUÇÃO

Métodos consistentes para a previsão da maré surgiram com a teoria das séries de Fourier, que permitem construir um sinal do domínio tempo pela sobreposição de harmónicas. É possível converter a série temporal do marégrafo para o domínio frequência, ou seja determinar as amplitudes e fases das harmónicas e, com estas, reconstruir o sinal no tempo futuro ou previsão.

No essencial, temos a análise e a previsão da maré, sendo que a primeira tem o propósito de viabilizar a segunda. A análise procura extrair as amplitudes e fases das harmónicas, nas velocidades angulares conhecidas, determinadas pelos movimentos do Sol, Terra e Lua.

Descreve-se, de forma resumida, a elaboração e testes de *software* em folha de Excel, para análise, pelos métodos de mínimos quadrados e por séries de Fourier, e para previsão da maré, de utilização simples e prática, com fins didáticos e não para uso em navegação.

### 2. CÁLCULO DOS ARGUMENTOS ASTRONÓMICOS E DOS FATORES NODAIS DAS CONSTITUINTES HARMÓNICAS

Seja para análise, seja para previsão, é necessário calcular para o início (e ou para o meio) das séries temporais os argumentos astronómicos referidos a Greenwich,  $Gr. (V_0+u)_i$ , das harmónicas e dos respetivos fatores nodais,  $f_i$ . As de interesse, usadas na aplicação são as  $S_a$ ,  $S_{sa}$ ,  $M_m$ ,  $MS_f$ ,  $M_f$ ,  $2Q_1$ ,  $Q_1$ ,  $\rho_1$ ,  $O_1$ ,  $NO_1$ ,  $P_1$ ,  $S_1$ ,  $K_1$ ,  $J_1$ ,  $OO_1$ ,  $2N_2$ ,  $\mu_2$ ,  $N_2$ ,  $v_2$ ,  $M_2$ ,  $\lambda_2$ ,  $L_2$ ,  $T_2$ ,  $S_2$ ,  $R_2$ ,  $K_2$ ,  $2SM_2$ ,  $M_3$ ,  $M_4$ ,  $MS_4$  e  $S_4$ .

Seguimos a abordagem das publicações de referência <sup>1</sup> e <sup>2</sup> para o cálculo das funções orbitais, dos  $f_i$  e dos  $Gr. (V_0+u)_i$ . A aplicação ficou funcional para os séculos XX e XXI.

Os resultados para  $Gr. (V_0+u)_i$  foram testados para várias datas de início de ano, em comparação com os tabelados na *Special Publication N. 98*, tabela 15, da NOS (Schureman, 1940) e também com os indicados no *website* em nota de rodapé <sup>3</sup>. Para as 00:00 (TUC) de 1 de janeiro de 1999, compararam-se os argumentos  $Gr. (V_0+u)_i$  das 31 harmónicas. Os valores obtidos são iguais aos daquelas duas referências (SP 98 e *website*), exceto os seguintes:

- $Gr. (V_0+u)$  da  $MS_f$  menor em  $0,1^\circ$  do que nas duas referências.
- $Gr. (V_0+u)$  da  $O_1$  menor em  $0,1^\circ$  do que no *website*.
- $Gr. (V_0+u)$  das  $OO_1$  e  $2N_2$  maior em  $0,1$  do que na SP 98.
- $Gr. (V_0+u)$  da  $L_2$  menor em  $0,1$  do que na SP 98.

Face a estas diferenças residuais, em apenas cinco das 31 harmónicas, crê-se que os cálculos dos

<sup>1</sup> Schureman, P. (1940). *Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides, Special Publication No. 98*, U.S. Department of Commerce. 317 pp.

<sup>2</sup> Dennis, R. E., e Long, E. E. (1978). *A User's Guide to a Computer Program for Harmonic Analysis of Data at Tidal Frequencies*, NOAA Technical Report NOS 41. 31 pp.

<sup>3</sup>

<http://phgeorges.free.fr/docs/voile/PPCP%20Voile%20TbaMVA/Maree/HARMONIC.JAP>

argumentos Gr.  $(V_0+u)_i$  são exatos. Relativamente aos fatores nodais,  $f_i$ , a comparação, entre os obtidos e os da SP98 para meio de 1999, revela que dos 31, 22 são iguais, 8 ( $M_m, M_f, 2Q_1, Q_1, \rho_1, O_1, NO_1$  e  $K_1$ ) diferem em  $\pm 0,001$  e um ( $K_2$ ) difere em  $-0,002$ . Estas diferenças são mínimas e o cálculo afigura-se exato.

### 3. ANÁLISE DAS MARÉS

A análise das marés, num dado local, pode ser efetuada pelos métodos de ajustamento por mínimos quadrados e por séries de Fourier, que foram elaborados para séries de 29 dias.

#### 3.1. Análise harmónica pelo método de mínimos quadrados

Seguiu-se a abordagem do *Special Report No. 186 in Applied Marine Science* <sup>4</sup> para calcular os coeficientes de Fourier  $A_j$  e  $B_j$ ,  $j=1,2,\dots,k$  das harmónicas  $j=1,2,\dots,k$ , por ajustamento de quadrados mínimos.

Obtidos os  $A_j$  e  $B_j$ ,  $j=1,\dots,k$ , calculam-se as constantes harmónicas (amplitudes  $R_j$  e fases  $\zeta_j$ ) para cada harmónica,  $j = 1,\dots,k$ :

- Amplitudes:  $R_j = \sqrt{A_j^2 + B_j^2}$
- Fases:  $\xi_j = \text{atan}\left(\frac{B_j}{A_j}\right)$ , no meio da série, onde é definido  $t=0$ .

As amplitudes,  $R_j$ , são corrigidas pelos fatores nodais,  $f_j$ , para se obterem as amplitudes médias

$$H_j = \frac{R_j}{f_j}$$

(no ciclo nodal de 18 anos e 2/3):

As fases  $\zeta_j$  são ajustadas para forma utilizável, isto é procura-se o desfaseamento entre as harmónicas na maré real e as correspondentes na maré teórica:

- “Epoch”:  $k_j = \xi_j + \text{local}(V_0 + u)_j$ , os desfaseamentos das harmónicas locais face às teóricas, no início da série.
- “Modified epochs”:  $g_j = k_j + p\lambda - \frac{a_j S}{15}$ . Os valores  $g_j$  são os efetivamente usados na previsão.

$p = 1$  se diurna,  $p = 2$  se semidiurna,  $p = 0$  se período longo.

$\lambda$  = longitude do marégrafo.

$S$  = longitude do meridiano central do fuso horário para as previsões.

#### 3.2. Análise harmónica pelo método das séries de Fourier

Uma série de  $N$  alturas de maré horárias, medidas no marégrafo,  $h_t$ ,  $t=1, 2, 3 \dots, N$ , pode ser aproximada por:

$$h(t) = H_0 + \sum_{j=1}^k A_j \cos(a_j t) + \sum_{j=1}^k B_j \text{sen}(a_j t)$$

$$H_0 = \text{nível médio} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N h_t$$

Na análise começa-se por efetuar o cálculo dos coeficientes  $A_j$  e  $B_j$ , das harmónicas  $j=1,2,\dots,k$ , de acordo com:

$$A_j = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^{t=N} h_t \cos[(t-1)a_j]$$

$$B_j = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^{t=N} h_t \text{sen}[(t-1)a_j]$$

- $(t-1)$  = tempo em horas desde início da série.
- $a_j$  = velocidade angular ( $^\circ/h$ ) da constituinte  $j$ .

Tal como na secção anterior, 3.a., respeitante ao método por mínimos quadrados, uma vez obtidos os coeficientes  $A_j$  e  $B_j$ ,  $j=1,\dots,k$ , calculam-se as amplitudes  $R_j$  e fases  $\zeta_j$  para cada constituinte  $j = 1,\dots,k$ :

Da mesma forma são calculadas as amplitudes médias no ciclo nodal,  $H_j$ , “epochs” e “modified epochs”.

### 4. FINALIZAÇÃO DO PROCESSO DA ANÁLISE HARMÓNICA

Optámos por testar os métodos de análise por mínimos quadrados e por séries de Fourier com 29 dias de alturas horárias, desde as 00:00 (TUC) de 1 novembro até às 00:00 (TUC) de 30 de novembro de 2005, em Cascais. Usaram-se os valores de previsões publicados na Tabela de Marés do Instituto Hidrográfico (IH).

#### 4.1. Inferência de harmónicas

Para uma série de 29 dias são separáveis 10 constituintes: as  $M_2, S_2, N_2, O_1, K_1, M_4, M_6, M_8, S_4$  e  $S_6$ .

Contudo, podem ser inferidas 16 adicionais: as  $J_1, M_1, OO_1, P_1, Q_1, 2Q_1, \rho_1, K_2, L_2, N_2, 2N_2, R_2, T_2, \lambda_2, \mu_2$  e  $\nu_2$ , conforme as fórmulas de (325) a (343) da SP98.

As inferências de constituintes diurnas (as  $J_1, M_1, OO_1, P_1, Q_1, 2Q_1, \rho_1$ ) e de semidiurnas (as  $K_2, L_2, N_2, 2N_2, R_2, T_2, \lambda_2, \mu_2$  e  $\nu_2$ ) foram implementadas na folha de Excel a partir das harmónicas  $M_2, S_2, N_2, O_1, K_1, M_4, M_6, M_8, S_4$  e  $S_6$  separadas.

<sup>4</sup> Boon III, J. D., e Kiley, K. P. (sem data). Harmonic Analysis and Tidal Prediction by the Method of Least Squares, a User’s Manual, *Special Report No. 186 in Applied Marine Science*.

#### 4.2. Correções de fases e de amplitudes

Os valores das inferidas requerem correções de fases e de amplitudes. O procedimento é efetuado em três passos<sup>5</sup>:

- Correção preliminar à amplitude da  $S_2$  devida a efeitos perturbadores das  $K_2$  e  $T_2$ .
- Correção preliminar à amplitude de  $K_1$  devido ao efeito de  $P_1$ .
- Correção de eliminação de contaminações entre as harmónicas, por grupos das diurnas ( $J_1$ ,  $K_1$ ,  $M_1$ ,  $O_1$ ,  $OO$ ,  $P_1$ ,  $Q_1$ ,  $2Q$ ,  $S_1$  e  $\rho_1$ ) e das semidiurnas ( $K_2$ ,  $L_2$ ,  $M_2$ ,  $N_2$ ,  $2N$ ,  $R_2$ ,  $S_2$ ,  $T_2$ ,  $\lambda_2$ ,  $\mu_2$ ,  $\nu_2$  e  $2SM$ ).

Estes procedimentos foram aplicados na sequência de ambos os métodos de análise, por quadrados mínimos e por séries de Fourier.

### 5. RESULTADO DA ANÁLISE HARMÓNICA

Os resultados da análise harmónica (médias dos valores pela série de Fourier e por mínimos quadrados) foram colocados em tabelas, uma para amplitudes, outra para fases (só parcialmente apresentadas por razões de espaço).

Tabela 1 - Tabelas de resultados de análise harmónica

Resultados da análise harmónica						Resultados da análise harmónica							
Amplitudes (m)						Fases (graus)							
Harmónicas	Fourier	Mín. quad.	% dif.	Média IH, 1975	Méd. -91 % erro	Harmónicas	Fourier	Mín. quad.	Diff. (min)	Média g. IH, 1975	Diff. (min)		
$M_2$	1.016	1.024	-0,8	1.020	0,976	-0,044	4,5	62,4	63,1	1,4	62,8	0,5,5	
$S_2$	0,340	0,356	-4,7	0,348	0,349	-0,001	-0,3	87,2	86,3	-1,8	86,8	91,7	-9,9
$N_2$	0,164	0,179	-9,1	0,172	0,209	-0,038	-17,9	66,7	49,0	-17,3	37,9	49,5	-17,6
$\mu_2$	0,082	0,087	-6,1	0,085	0,099	-0,016	-22,5	41,2	43,4	8,8	42,3	54,3	-47,9
$\nu_2$	0,054	0,061	-13,0	0,058	0,058	-0,002	-3,8	315,4	311,7	-15,9	313,6	313,8	-1,1
$\lambda_2$	0,087	0,092	-5,7	0,090	0,099	-0,010	-9,6	67,3	66,2	-2,2	66,8	88,9	-44,2
$\rho_2$	0,038	0,038	0,0	0,038	0,043	-0,005	-11,6	64,9	50,6	-30,1	57,8	54,6	6,6
$\rho_1$	0,023	0,023	0,0	0,023	0,036	-0,011	-30,6	35,2	37,9	5,8	36,6	24,8	68,1
$2Q$	0,025	0,025	0,0	0,025	0,032	-0,007	-21,9	55,4	58,1	5,8	56,8	28,1	61,6
$P_1$	0,023	0,024	-4,3	0,024	0,022	0,002	6,8	49,7	51,5	7,2	50,6	42	34,5
	0,028	0,028	0,0	0,028	0,031	-0,003	-11,1	54,2	58,1	10,0	48,1	43,7	50,4

Delas podemos constatar:

- As diferenças relativas são substancialmente maiores para as harmónicas de muito pequenas amplitudes (abaixo dos 2 cm), de maior indefinição nos métodos de cálculo. Devido à reduzida dimensão e interesse prático das  $M_4$ ,  $S_4$ ,  $M_6$ ,  $S_6$ ,  $M_8$ ,  $T_2$ ,  $Q_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\rho_1$ ,  $R_2$ ,  $2Q_1$ ,  $J_1$ ,  $OO_1$  e  $M_1$ , delas não faremos comentários adicionais.
- Quando comparamos os valores obtidos com os do IH (1975) as diferenças relativas são variáveis entre -0,3% para a  $S_2$  e 33,3% para a  $L_2$ . Tais discrepâncias podem ser justificadas pelo facto de a série temporal que usámos ser apenas de 29 dias, enquanto as harmónicas obtidas pelo IH resultarem de cerca de um ano de dados (357 dias).

Da interpretação da tabela de comparação das fases, g, “modified epochs”, podemos constatar:

- Pelas mesmas razões que na interpretação das amplitudes também só avaliaremos as harmónicas cujas amplitudes são superiores a 2 cm, isto é as  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $K_2$ ,  $\nu_2$ ,  $\mu_2$ ,  $2N_2$ ,  $P_1$  e  $L_2$ .
- As diferenças relativas entre as fases obtidas, convertidos em diferenças de tempo, oscilam entre 1,4 minutos para  $M_2$  e -45,2 minutos para  $2N_2$ .
- Algumas destas diferenças são relativamente pequenas como sejam as de  $M_2$  e  $S_2$ , as duas mais importantes, com apenas 1,4 e -1,8 minutos. Porém, para a terceira mais importante, a  $N_2$ , a diferença já foi de -37,3 minutos.
- Quando comparamos os valores médios das fases apuradas (pelo método de séries de Fourier e de mínimos quadrados) com a referência IH (1975) as diferenças oscilam entre -1,1 minutos para a  $O_1$  e 68,1 minutos para a  $\mu_2$ . As três harmónicas principais  $M_2$ ,  $S_2$  e  $N_2$  apresentam diferenças de -5,7, -9,9 e 17,6 minutos, respetivamente.
- Estas diferenças dizem-nos que os métodos implementados, ao analisarem apenas 29 dias de dados, não são os mais indicados tendo em vista a previsão da maré, o que já se suspeitava. O padrão adotado internacionalmente é um ano de observações.

Em complemento, fez-se um teste a comparar a previsão da maré, efetuada com as constantes harmónicas obtidas, para 1 a 29 de novembro de 2005, porto de Cascais, com os próprios dados de referência (Tabela da Marés do IH, 2005) que serviram para fazer a análise harmónica, também de 1 a 29 de novembro de 2005, Cascais.

O resumo das estatísticas é:

Média = -0,0038 m  
Desvio padrão = 0,0616 m  
Máximo = 0,16 m  
Mínimo = -0,15 m

Constata-se uma diferença média de -0,4 cm, desvio padrão de 6,2 cm, máximo de +16 cm e mínimo de -15 cm. Valores positivos significam calculados acima dos de referência. Estas diferenças, são bastante razoáveis, sem no entanto contrariar a desvantagem inerente à curta extensão da série de 29 dias.

### 6. PREVISÃO DA MARÉ

A fórmula para a previsão consiste em fazer o somatório das harmónicas:

Foi implementada na folha de Excel, com os valores das constantes harmónicas do IH, respeitantes ao porto de Cascais, com base nos dados do marégrafo em 1975. As harmónicas

<sup>5</sup> Schureman, P. (1940). *Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides, Special Publication No. 98*, U.S. Department of Commerce. pp. 80-81.



utilizadas são 31:  $S_{sa}$ ,  $S_{sa}$ ,  $M_m$ ,  $MS_f$ ,  $M_f$ ,  $2Q_1$ ,  $\rho_1$ ,  $O_1$ ,  $NO_1$ ,  $P_1$ ,  $S_1$ ,  $K_1$ ,  $J_1$ ,  $OO_1$ ,  $2N_2$ ,  $\mu_2$ ,  $N_2$ ,  $v_2$ ,  $M_2$ ,  $\lambda_2$ ,  $L_2$ ,  $T_2$ ,  $S_2$ ,  $R_2$ ,  $K_2$ ,  $2SM_2$ ,  $M_3$ ,  $MS_4$ ,  $S_4$ .

O utilizador faz entrada das escolhas:

- Porto: quatro opções (Cascais, Viana do Castelo, Lagos e Funchal).
- Data: ano, mês, dia. Pode também escolher a hora (do fuso -1 ou hora de verão).

O cálculo é imediato resultando valores para as alturas de marés horárias (fuso -1 ou hora de verão em Portugal Continental e Madeira), a lista de preia-mares (PM) e baixa-mares (BM) para o dia.

Para testar procedeu-se a comparação das previsões de duas formas:

- Comparação das previsões horárias entre as previsões da folha Excel, com as constantes harmónicas do IH(1975), e a Tabela de Marés oficial do IH, no período de 1 a 31 de janeiro de 1996:
  - As estatísticas resultantes resumem-se a:
    - Média = -0,002 m
    - Desvio padrão = 0,0089 m
    - Máximo = 0,02 m
    - Mínimo = -0,03 m
  - Verifica-se coincidência quase perfeita, já que as constantes harmónicas usadas na folha de Excel e pelo IH, nesse ano, são as mesmas.
  - Comprova que o programa dá previsões exatas ou quase.
- Comparação das previsões horárias entre as previsões da folha Excel, com as constantes harmónicas do IH (1975), e as da Tabela de Marés oficial do IH produzida com constantes harmónicas de dados mais recentes (IH(1999)), no período de 1 a 30 de novembro de 2005:
  - As estatísticas resultantes:
    - Média = 0,0197 m
    - Desvio padrão = 0,0393 m
    - Máximo = 0,11 m
    - Mínimo = -0,08 m
  - Nesta situação, deixou de haver a coincidência quase perfeita. As diferenças embora pequenas (média de 1,97 cm) têm oscilações entre -8 cm e +11 cm, com desvio padrão de 3,9 cm, o que se justifica por os dados de referência, as previsões do IH para 2005, terem sido geradas com constantes harmónicas diferentes (dados de 1999).
  - As diferenças têm magnitudes que não ultrapassam os erros associados a outros fatores como sejam as alterações do nível médio do mar, em escalas diárias e sazonais, por influências meteorológicas.

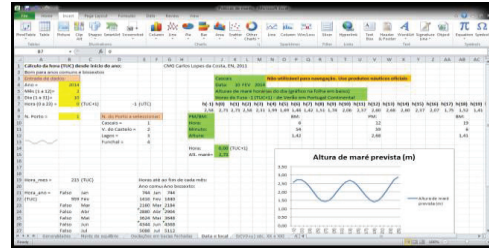


Fig. 1 - Resultado de previsão da maré na folha de Excel.

## 7. CONCLUSÃO

Foi posta a funcionar, em ambiente de folha de cálculo Excel, a metodologia para calcular: (1) fatores nodais e argumentos astronómicos de 31 constituintes harmónicas de maré; (2) análise harmónica por mínimos quadrados; (3) análise harmónica por séries de Fourier; (4) previsão harmónica de marés.

Os resultados podem sintetizar-se em:

- Os fatores nodais e argumentos astronómicos, referidos a Greenwich, são calculados com resultados exatos, conforme comprovado em comparação com outras referências. Esta versão resolve-os para os séculos XX e XXI.
- As análises harmónicas por mínimos quadrados e por séries de Fourier proporcionam constantes harmónicas (amplitudes e fases das constituintes da maré) consistentes, embora algo diferentes dos valores de referência do IH(1975), o que é justificável por usarmos uma série temporal com apenas 29 dias, enquanto a de referência é de quase um ano (357 dias), o padrão recomendado. Ainda assim, usando as constantes harmónicas para prever os dados de onde elas foram calculadas, as diferenças (média de -0,4 cm, desvio padrão de 6,2 cm, máximo de +16 cm e mínimo de -15 cm) são bastante razoáveis. O programa pode ser adaptado a analisar séries de maior duração até um ano.
- As previsões de maré, em particular quando usadas as constantes harmónicas do IH(1975), coincidem praticamente com as previsões de referência da Tabela de Marés do IH, calculada com as mesmas constantes harmónicas, o que comprova o funcionamento correto na folha de Excel.
- Para trabalho futuro seria interessante experimentar a previsão com as constantes harmónicas usadas atualmente pelo IH, para avaliar de eventuais diferenças nos resultados da previsão na folha de Excel. Também adaptar a programação para analisar séries de maior duração resolvendo melhor e conseguindo mais harmónicas.

## Agradecimentos

Agradeço ao IH, incluindo os chefes e colaboradores, pelo que com eles aprendi, nos anos que lá servi.

## The Iberian Coastal Low-Level Jet Structure and Dynamics

N. Rijo<sup>(1)</sup>, D. Lima<sup>(2,3)</sup>, A. Semedo<sup>(2,4)</sup>, P. Miranda<sup>(3)</sup>, R. Cardoso<sup>(3)</sup> e P. Soares<sup>(3)</sup>,

- (1) Escola Naval, Base Naval de Lisboa. nadia.sofia.rijo@marinha.pt
- (2) Escola Naval-CINAV
- (3) Instituto Dom Luiz – Universidade ty of Lisbon
- (4) Department of Earth Sciences, Uppsala University, Sweden

**Abstract:** A coastal low-level jet (CLLJ) is an important mesoscale phenomenon of some regional coastal climates, and is characterized by a coast-parallel flow as a consequence of a large synoptic forcing caused by a high pressure system over the ocean and a thermal low inland. The Iberian Peninsula Coastal Jet (IPCJ) is an example of a CLLJ, due to the effect of the Azores high-pressure in the North Atlantic sub-basin, and to the presence of a thermal low pressure system inland over the Iberian Peninsula. This seasonal coastal wind is often called the *Nortada* (northerly wind). The present study uses the downscaled WRF high resolution data to study the mesoscale structure, spatial variability and temporal characteristics of the IPCJ at 9 km resolution for a period 1989-2008, along the west coast of Portugal-Spain. A detailed analysis of a CLLJ case study (at 1 km resolution) centered in *Cabo Raso* and *Guincho* is also presented.

**Key words:** Coastal Low-Level Jet, Coastal-parallel wind, Iberian Peninsula Coastal Jet, WRF mesoscale model, mesoscale structure.

### 1. INTRODUCTION

A coastal low-level jet (CLLJ) is a mesoscale-flow phenomenon characterized by a sharp maximum in the wind speed profile within the low troposphere. CLLJ have a relatively small vertical extent, usually less 1000 m and often only a few hundred meters, but their horizontal extent can exceed hundreds of kilometers. Recently Ranjha et al. (2013) showed that CLLJ can be found along the mid-latitude west coasts of every continent: off the west coasts of North and South America and Africa, off the west coast of Australia, and off the southwest coast of Europe. They also found that CLLJ can be found along the southeast coast of the Arabian Peninsula, along the coasts of Oman.

CLLJ are driven by a pressure gradient produced by a high temperature contrast between high temperatures over land and lower temperatures over the sea. The thermal wind structure caused by this strong land-sea temperature contrast is fundamentally responsible for the existence of a CLLJ there. Despite being a mesoscale feature CLLJ have a larger scale synoptic pattern forcing behind them: a high pressure system and a thermal low in land, leading them to occur along the cold eastern boundary currents in the mid-latitudes. In the CLLJ areas the contrast between the low temperatures over the ocean and the warm high temperatures over land, in the summer, is intensified by the impact (positive feedback) of the coastal winds on the ocean. The coastal winds give rise to upwelling currents and sharpen the temperature (pressure) gradient close to the coast. These coastal high temperature and pressure gradients lead to strong baroclinic structures at the coast.

Studies have shown that coastal jets can play a significant role in the regional climate of coastal regions, including advection fog formation, high wind speeds, cloudy conditions, and, more important, water vapor content. The decrease of the sea surface temperatures (SST) along the coast, due to the effect of CLLJ induced upwelling currents, lowers the ocean surface evaporation, and the strong coast-parallel winds limit the advection of moist inshore, lowering the water vapor content of the air over land and contributing to the aridity and dryness of some of the mid-latitude western coastal regions (Warner, 2004). One notable example is the Atacama Desert inland of the Chilean-Peruvian CLLJ, one of the driest places on earth.

The Iberian Peninsula Coastal Jet (IPCJ) is an example of a CLLJ, developed mostly during the summer season, due to the effect of the Azores high-pressure in North Atlantic sub-basin, and to the presence of a thermal low pressure system inland over the Iberian Peninsula. This seasonal coastal wind is often called the *Nortada* (northerly wind; Lopes et al., 2009). The climatology of the Iberian Peninsula CLLJ was recently presented by Soares et al. (2014). They have found that, in spite not being as prevalent as other coastal jets (Ranjha et al. 2013, 2014), during the summer it has frequencies of occurrence of the order of 34-35%. Their results have also shown three different areas (closer to the coast) of higher than average frequency of occurrence of the IPCJ: in vicinity of *Viana do Catelo*, south of *Cabo Raso* and south of *Cabo S. Vicente*. The present paper uses the downscaled high resolution WRF model data from Soares et al. (2012) to study the mesoscale structure, spatial variability and temporal

characteristics of the IPCJ at 9 km resolution for a period between 1989 and 2007, along the west coast of Portugal-Spain. A detailed analysis of a CLLJ case study (at 1 km resolution) centered in *Cabo Raso* and *Guincho* is also presented.

## 2. DATA AND METODOLOGY

The methodology followed in this study can be divided in two parts. Firstly the IPCJ mesoscale structure was characterized statistically, namely through frequencies of occurrence of CLLJ, mean wind speed, and jet heights, direction and diurnal and monthly variability. Secondly a detail analysis of a CLLJ particular (extreme) occurrence, as referred in Soares et al. (2014), was pursued.

### 2.1 WRF Simulations

The WRF Model is a mesoscale numerical weather prediction system used to produce simulations reflecting either real data (observations, analyses) or idealized atmospheric conditions.

Soares et al. (2012) used the WRF model set with two nested grids (with 27- and 9 km horizontal grid spacing; one way nesting), to downscale ERA-Interim (Dee et al. 2011) atmospheric data for the Iberian Peninsula area for the period 1989-2008. Here we use the WRF downscaling data from their inner-most domain. We choose an area along the western coast of the Iberian Peninsula (Fig 1), where the frequency of occurrence of the IPCJ is higher (Soares et al. 2014). Separately, and at the same resolution (9 km), three areas of interest were chosen (A1, A2, and A3, from north to south, respectively), based on the areas of higher frequency occurrence of the IPCJ mentioned in Soares et al. (2014). The north-most area (A1) is centered in the vicinity of *Viana do Castelo*; the central (A2) area is centered south of *Cabo Raso*, and the south-most area is centered south of *Cabo de S. Vicente*.

A particular CLLJ occurrence on 19<sup>th</sup> August 2007 in the area A2 is analyzed in detail using a WRF simulation comprising four domains (one way nested), with horizontal grid increments of 27 km, 9 km, 3 km, and 1 km (~limits of area A2), respectively, with the coarser domains centre on the Iberian Peninsula. The simulation spanned over 8 days (15-22 August). The early start was used as spin-off time. Initial and lateral conditions for the outer domain were provided by ERA-Interim reanalysis, at 1°x1° horizontal resolution. The lateral boundary conditions and SST were both updated every 6 h (SST also from ERA-Interim). The model was configured with 51 vertical levels. In all domains the out-most 5 grid point band is used as lateral relaxation area.

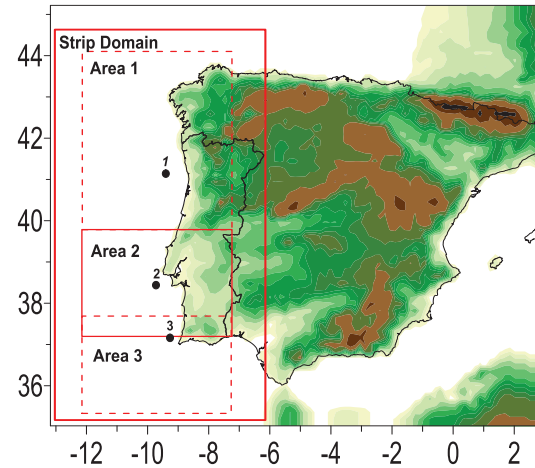


Fig. 1. WRF domain used in the downscaling (outermost domain) and the strip domain within the three areas and their representative points 1, 2 and 3, respectively.

### 2.2 CLLJ Filtering Algorithm

The IPCJ statistics in this study follow the detection criteria developed by Ranjha et al. (2013), which is based on the analysis of the vertical wind speed and temperature profiles. According with these criteria the IPCJ events occur when:

- The jet maximum is found within the lowest 2 km;
- The wind speed at the jet maximum is at least 20% higher than at the surface (i.e. the lowest model level in our study);
- The wind speed above the jet maximum decreases to below 80% of that at the surface (i.e. a 20% fall off) within 5 km above the maximum;
- The temperature at the jet maximum is lower than that at two model levels above (inversion detection); and
- The maximum temperature does not occur at the surface (rejection of surface-based inversion).

The high resolution SST field is used from National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) High-resolution Blended Analysis of Daily SST.

## 3. CHARACTERISTICS OF THE IBERIAN PENINSULA COASTAL JET

Fig. 2 shows the monthly mean of the frequency of occurrence of IPCJ (January to December) for the main area and for each of the sub-areas. The mean wind speed at the jet height (where the maximum wind speed occurs) for each month is also shown.

The seasonality of the IPCJ occurrences is clear from Fig. 2a, with the summer months (June to August – JJA) displaying the maximum values of IPJC occurrences. July is the month where coastal

jets are more prevalent (~30%, i.e. practically one in three days having IPCJ).

The monthly wind speed is also higher in the summer, and highest in July (around  $15 \text{ ms}^{-1}$ ; Fig.2b). Sub-areas A2 and A3 have higher occurrences of IPCJ in the summer (and July), compared to A1.

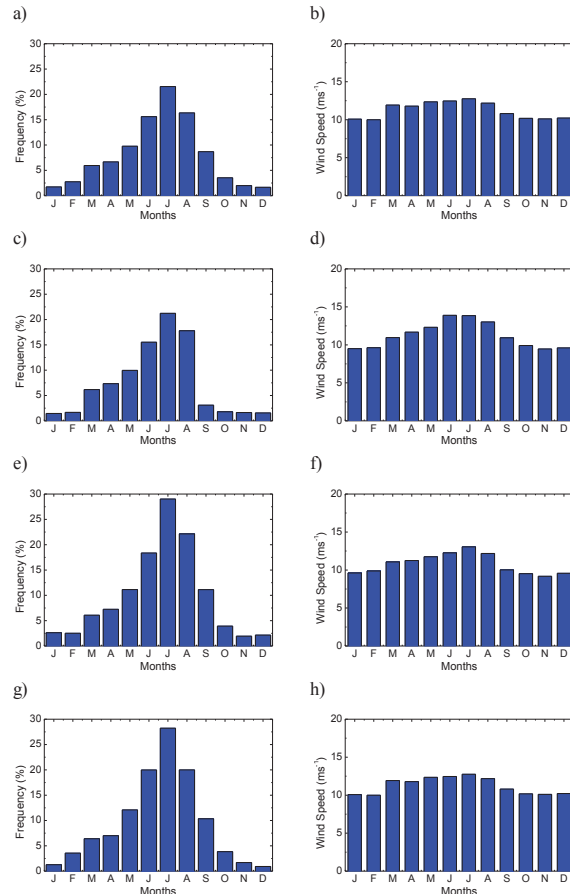


Fig. 2. Monthly mean of the frequency of occurrence of IPCJ (%; January to December) for (a) the main area and (c, e, and g, for the A1, A2, and A3 sub-areas, respectively), and mean wind speed at the jet height ( $\text{ms}^{-1}$ ; where the maximum wind speed occurs) for each month, also for (b) the main area and (d, f and h) for each of the sub-areas.

The monthly wind speed is also higher in the summer, and highest in July (around  $15 \text{ ms}^{-1}$ ; Fig. 2b). Sub-areas A2 and A3 have higher occurrences of IPCJ in the summer (and July), compared to A1. The central area A2 has also the highest IPCJ occurrences, if the all year is considered. On the other hand area A1 has the highest mean wind speeds in the summer, peaking in July.

The coastal-parallel wind along the west coast of Iberia, is responsible for the offshore transport of water (due to Ekman transport) and for the upwelling, and consequently for the decrease of SST at the coast.

The statistics for the IPCJ during summer months comprising the frequency of occurrence of the height (the height of the wind speed maxima) and

of the wind speed at jet height, and the distribution of the wind direction occurrences were also computed, but are not shown here. The distributional pattern for jet height and for the most prevalent wind speed at jet core is similar at each of the three areas in JJA, revealing that 15 % of IPCJ occur at 300-400 m, and more than 20% have a wind speed maxima around  $15 \text{ ms}^{-1}$ .

Area A2, where the IPCJ occurrences are highest, has wind speeds between  $16\text{-}20 \text{ ms}^{-1}$  occurring around 15% of the time. In area A1, nevertheless, the wind speed at the jet height in July is higher (wind speeds of the order of  $20\text{-}24 \text{ ms}^{-1}$  occurring ~7% of the time) than in areas A2 and A3. The predominant wind direction in all three areas is mostly northerly (30%) to north-north-easterly (35%) during JJA, particularly during July. In May, June and September the pattern is slight different, with wind directions slightly more easterly.

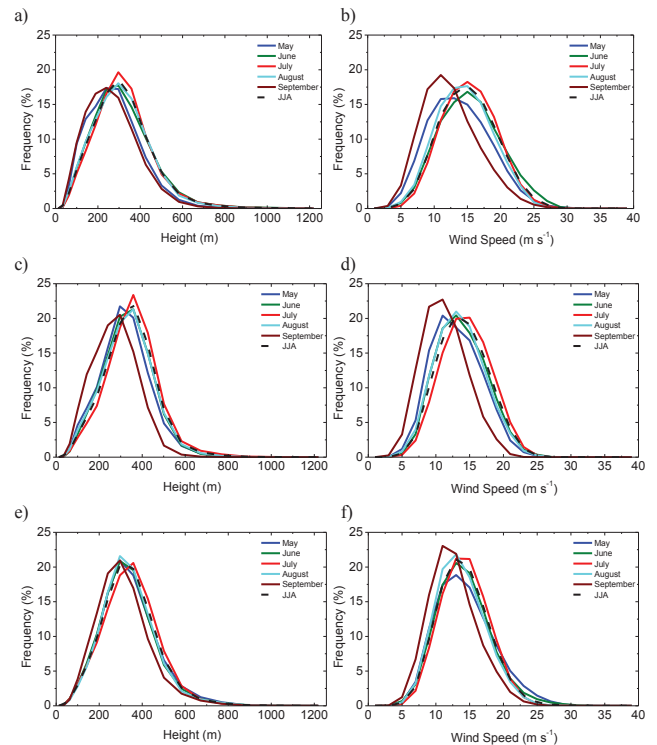


Fig. 3. Probability density functions for (a, c and e) height of IPCJ frequency of occurrence (%) and for (b, d and f) for wind speed, from May to September, and for JJA.

Fig. 3 presents the probability density functions of the IPCJ heights and wind speeds (maxima) at the jet core for each of the May to September months, as well as for the JJA composite, for each of the three areas. In areas A1 and A2 clearly the jet is highest in June to August (Figs 3a, c), although with highest prevalence in July. In area A3 the jet is clearly higher in July (Fig. 3e). September has the lowest jet heights in all three areas, and also the lowest wind speeds. July, on the other hand, has the highest wind speeds regardless of the area, followed by August. In June, in area A1 (Fig. 3a),



extreme wind speeds (from 20 to 30  $\text{ms}^{-1}$ ) occur, although with low frequency of occurrence.

A case-study analysis of an IPCJ event in area A2 south of *Cabo Raso* was identified based on the surface wind speed analysis. Fig. 4 shows a cross section of the wind speed with the isentropes (lines of equal potential temperature) overlaid (from August 19<sup>th</sup>, 2007, at 2100 local time). This cross section contains point 2 shown above in Fig. 1. From this cross-section the high wind-speed at the jet core (25 $\text{ms}^{-1}$  at ~500 m a.s.l.) is clearly visible. The isentropes also show the lowering of the marine atmospheric boundary layer (MABL) height, as can be seen by its bending towards the coast. A cooler and well mixed MABL is also seen in the cross section. A well noticeable hydraulic jump occurred inland due to the interaction of the flow with the coastal topography.

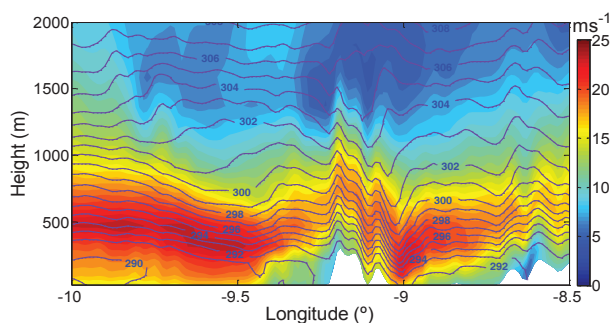


Fig. 4. Modelled case-study vertical cross-section at point 2, of wind speed ( $\text{ms}^{-1}$ ; colours) and potential temperature (isentropes (k); violet lines).

#### 4. SUMMARY AND CONCLUSIONS

In the present study the mesoscale structure, spatial variability and temporal characteristics of the IPCJ were studied using a high-resolution regional atmospheric dataset produced by Soares et al. (2012) using the WRF mesoscale model, forced by 19 yr of ERA-Interim reanalysis. Here we used at the data from the innermost domain, at 9 km resolution. The data were subjected to the CLLJ detection algorithm developed by Ranjha (2013) in order to detect the occurrence and characteristics of IPCJ at a strip along the west coast of the Iberian Peninsula. Statistics were also computed for three sub-areas (A1 to A3). It was shown that the strong IPCJ activity occurs at area A2, centered at *Cabo Raso*. In this region it was identified a particular IPCJ event (case-study) at 19<sup>th</sup> August 2007, that was studied

Monthly analysis of the modeling domain, and also for the three sub-areas, revealed that the IPCJ activity is highest during July, with a maximum occurrence rate of ~28% in area A2 and A3, and ~23% in modeling domain also in area A3, followed by August and June. July also exhibits the strongest wind speeds at the height of jet, and a predominant north and north-north-easterly coastal-parallel flow. July also has the highest jet

heights, whereas September has the lowest and weakest wind speeds. The mean height of the jet core is around 300 m. December to March have the weakest wind speeds, as well as lowest IPCJ activity (not shown). Area A2 corresponds to the area of highest frequency of IPCJ occurrence, although it is in area A1 that is registered the maximum of wind speeds (also in June for extreme wind speeds).

#### Acknowledgements

The work on this study was pursuit in the framework of the SHARE project, funded by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT – *Fundação para a Ciência e Tecnologia, Portugal*). All authors are part of the SHARE project.

#### REFERENCES

- Dee, D. P. and co-authors. (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Soc.*, 137:553-597.
- Lopes, A., Oliveira, S., Frago, M., Andrade J. A. and Pedro P. (2009). Wind risk assessment in urban environments: the case of falling trees during windstorm events in Lisbon, Bio. And Nat. Hazards. *International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, Slovakia*, ISBN 978-80-228-17-60-8
- Ranjha, R., Svensson, G., Tjernström, M., and Semedo, A. (2013). Global distribution and seasonal variability of coastal low-level jets derived from ERA-Interim reanalysis. *Tellus A*, 65, doi:10.3402/tellusa.v65i0.20412.
- Ranjha, R., Tjernström, M., Semedo, A. and Svensson, G. (2014). Structure and Variability of the Oman Coastal Low-Level Jet. *Tellus A*, 65, doi:10.3402/tellusa.v65i0.20412. *Under review*.
- Soares, P.M.M., Cardoso, R.M., Miranda, P.M.A., Medeiros, J. de, Belo-Pereira, M. and Espirito-Santo, F. (2012). WRF high resolution dynamical downscaling of ERA-Interim for 727 Portugal. *Climate Dynamics*. 39, 2497–2522, DOI: 10.1007/s00382-012-1315-2.
- Soares, P.M.M., Cardoso, R.M., Semedo, A., Chinita, M.J. and Ranjha, R. (2014). Climatology of the Iberia coastal low-level wind jet: weather research forecasting model high-resolution results. *Tellus A*, 66, 22377, <http://dx.doi.org/10.3402/tellusa.v66.22377>
- Warner, T. T. (2004). *Desert Meteorology*. Cambridge Univ. Press, Boston, MA, 595 pp.

# The Impact of a Warmer Climate on the Iberian Coastal Low-Level Wind Jet: EURO-CORDEX Projections

D. Lima<sup>(1,2)</sup>, A. Semedo<sup>(1,3)</sup>, P. Soares<sup>(2)</sup> and R. Cardoso<sup>(2)</sup>

- (1) Escola Naval-CINAV.danielacalima@gmail.com  
 (2) Instituto Dom Luiz, University of Lisbon, Lisbon  
 (3) Department of Earth Sciences, Uppsala University, Uppsala, Sweden

**Abstract:** A coastal jet is a low-tropospheric wind feature driven by the pressure gradient produced by a sharp contrast between high temperatures over land and lower temperatures over the sea. Although being a mesoscale feature, coastal low level jets (CLLJ) have a larger scale synoptic pattern forcing behind them: a high pressure system and a thermal low in land. For this reason CLLJ potential regions coincide with cold eastern boundary currents in the mid-latitudes. During the summertime the Iberian Peninsula is under the effect of the Azores High and of a thermal low pressure system inland, giving rise to a seasonal northerly wind, and CLLJ. This study presents future projections of the Iberian Peninsula CLLJ based on CORDEX WRF simulations. The projections are analysed for a time slice at the end of the 21<sup>st</sup> century (2071-2100). In the future, the Iberian CLLJ wind speed maximum is higher in height and stronger in wind speed.

**Key words:** Coastal Low-Level Wind Jet, Climate Change, Iberian Peninsula, EURO-CORDEX, Regional Climate Simulation.

## 1. INTRODUCTION

Coastal low-level jets (CLLJ) are coast-parallel low-tropospheric wind features, with wind-speed maxima, in the vertical, typically within ~1000 m or less from the ground level. In spite of having a relatively small vertical extend, confined to the marine atmospheric boundary layer (MABL), their horizontal extent can exceed hundreds of kilometres off the coast. Ranjha et al. (2013) showed that CLLJs can be found along the mid-latitude west coasts of every continent, except Antarctica, and along the southeast coast of the Arabian Peninsula, mostly off the coast of Oman.

CLLJ are driven by a pressure gradient produced by a sharp contrast between high temperatures over land and lower temperatures over the sea. The thermal wind structure caused by this strong land-sea temperature contrast is then fundamentally responsible for the existence of a CLLJ there. Although being a mesoscale feature CLLJ have a larger scale synoptic pattern forcing behind them: a high pressure system and a thermal low in land, which occur along the cold eastern boundary currents in the mid-latitudes. In the CLLJ areas the contrast between the cold (low) temperatures over the ocean and the warm (high) in the summer is intensified by the impact (positive feedback) of the coastal winds on the ocean, which generate upwelling currents and sharpen the temperature (pressure) gradient close to the coast. These coastal high temperature and pressure gradients give rise to strong baroclinic structures at the coast. Iberian Peninsula is under the effect of the Azores High and of a thermal low pressure system inland, giving rise

to a seasonal northerly wind, the *Nortada*, which is a CLLJ. The present climate of the Iberian Peninsula CLLJ was recently identified by Soares et al. (2014). They have found that, although not being as prevalent as other coastal jets (Ranjha et al. 2013, 2014), during the summer it has frequencies of occurrence of the order of 34 – 35%.

There is a broad scientific consensus that the climate will continue to warm throughout the 21<sup>st</sup> century, as it did in the recent past, due to the greenhouse gases emissions and to the inertia of the climate system (Solomon et al. 2007, IPCC 2013). CLLJ are important contributing features for the mid-latitude regional coastal climates along eastern boundary currents. The decrease of the sea surface temperatures (SST) along the coast, due to the effect of CLLJ induced upwelling currents, lowers the ocean surface evaporation, and the strong coast-parallel winds limit the advection of moist inshore, lowering the water vapour content of the air over land and contributing to the aridity and dryness of some of the mid-latitude western coastal regions (Warner, 2004). Changes in the CLLJ can therefore have a significant impact on the regional climate of these regions.

This paper deals with the impact of the projected changes in the future climate off the west coast of the Iberian Peninsula CLLJ. The changes on the 21<sup>st</sup> century climatology (2071 to 2100) of the Iberian CLLJ are evaluated through the Euro-CORDEX 50km downscaling data, produced using the WRF mesoscale model according to the Representative Concentration Pathways 8.5 (RCP8.5) greenhouse gas emissions scenario (Riahi et al. 2011). The RCP8.5 corresponds to the highest greenhouse gas

emissions when compared to the total set of RCP. The greenhouse gas emissions and concentrations in RCP8.5 rise significantly over time, leading to a radiative forcing of 8.5 W/m<sup>2</sup> at the end of the 21st century.

## 2. DATA AND METODOLOGY

### 2.1 EU-CORDEX Simulations

The present study uses results from the CORDEX regional climate model simulations for the European domain (Euro-CORDEX), with a horizontal resolution of 0.44 (~50 km; Jacob et al. 2013). These simulations are produced using the WRF mesoscale model (V3.5), forced by the ERA-Interim reanalysis (1989–2009; WRF-ERAi), and by the GCM Global Climate Model) EC-Earth for the control period (1960–2005; WRF-ECe(P), or “control run”), and for the future climate period (2006–2100; WRF-ECe(F)).

### 2.2 CLLJ Filtering Algorithm

Ranjha et al. (2013) proposed a CLLJ detection method. According to them, a CLLJ occurs when the following criteria are met:

- 1) The height of the jet maximum is within the lowest 1 km in the vertical;
- 2) The wind speed at the jet maximum is at least 20% higher than the wind speed at the surface;
- 3) The wind speed above the jet maximum decreases to below 80% of the wind speed at the surface (i.e. a 20% falloff) before reaching 5 km above its maximum;
- 4) The jet maximum occurs within a temperature inversion, i.e.:
  - a) The temperature at the jet maximum is lower than the temperature at two model levels above it (inversion detection);
  - b) The maximum temperature does not occur at the base (rejection of surface based inversion).

a) The temperature at the jet maximum is lower than the temperature at two model levels above it (inversion detection);

b) The maximum temperature does not occur at the base (rejection of surface based inversion).

These criteria were applied sequentially to the wind speed and temperature vertical profiles, at each grid point of the domain, to identify the location and frequency of occurrence of CLLJ.

## 3. PROJECTED CHANGES ON THE FUTURE CLIMATE OF THE IBERIAN CLLJ

The detection algorithm was applied to the downscaled data hourly output, and the number of hours of CLLJ occurrences (hits) was seasonally aggregated for boreal winter (December to February; DJF), spring (March to May; MAM), summer (June to August; JJA) and autumn (September to November; SON).

Figure 1 shows maps of seasonal CLLJ frequency of occurrence for MAM, JJA and SON, for WRF-ERAi (1989–2009) and WRF-ECe(P) (1971–2000), left and right panels, respectively. DJF results are not shown because in winter the CLLJ occurrences are marginal.

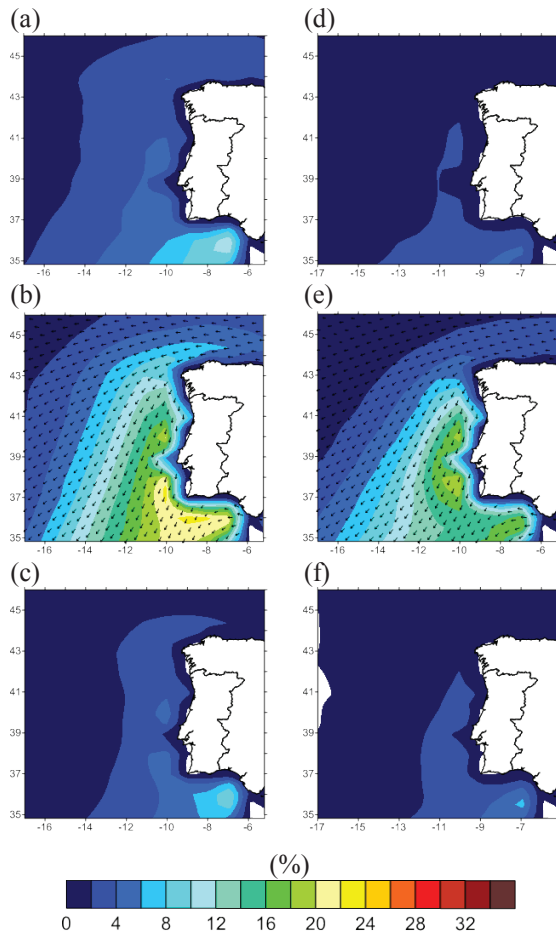


Fig. 1. Maps of seasonal hourly CLLJ frequency of occurrence (%) for ERA-Interim (a) MAM, (b) JJA and (c) SON, and for CONTROL (d) MAM, (e) JJA and (f) SON.

In all seasons illustrated in Fig. 1 it is possible to identify CLLJ events off the Strait of Gibraltar in the Gulf of Cadiz, which represent the *Levante* Wind. Although this phenomena shows up as positive CLLJ occurrences, it is not a coastal jet (it is a false positive), and, as in Soares et al. 2014, it will not be studied here and will not be considered in the statistical analysis.

During the MAM, JJA and SON seasons, the present climate (from WRF-ERAi) CLLJ events are found mostly off the western coast of the Iberian Peninsula. These results are consistent with Soares et al. (2014). In MAM (Fig. 1a,c), the frequencies of occurrences are relatively low, around 2–4%, with a considerable offshore extension to the west. The number of hits increases in JJA as can be seen by a band of around 14 – 20% frequency of occurrence, close to the West coast of Portugal. In this season, the coastal jet area along the Iberian Peninsula has a much larger spatial extend to the west, compared to

the other seasons (as found by Ranjha et al. 2013). In autumn, the frequency of occurrence of CLLJ decreases, compared to summer and the spatial extent to the west is lower than in MAM.

The agreement between the WRF-ERAi and WRF-ECe(P) is good, although the frequency of occurrence of CLLJ is slightly smaller in the control run.

The statistics for the summer climatology (from WRF-ERAi) of the Iberian CLLJ (not shown) show that the coastal jets wind maxima in this region are mostly found within the first 500 m above the sea level (a.s.l.), with 75% of the occurrences at these heights. On the other hand the jet wind speed distribution (at the jet maxima) are mostly within the 10-20 m/s interval (> 80%), with ~25% around the 15 m/s. The statistics from the control run are similar, which give us confidence in the ability of WRF-ECe(F) to simulate a realistic climate change signal.

Fig. 2 shows the differences in the frequencies of occurrence of CLLJ between WRF-ECe(F) (2071 - 2100) and WRF-ECe(P) (1971-2000), i.e., future minus present, showing the projected impact of climate change on the Iberian coastal jet based on the RCP8.5 greenhouse gases emission scenario.

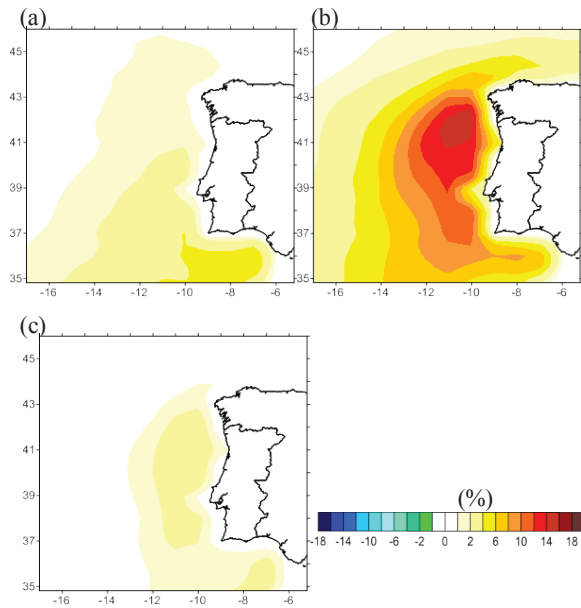


Fig. 2. Maps of anomalies (Future – CONTROL) of seasonal hourly CLLJ frequency of occurrence (%) (2071-2100 minus 1971-2000), (a) MAM, (b) JJA and (c) SON.

This impact is shown for MAM, JJA and SON. In MAM (Fig. 1a) a slight increase (~2%) of the occurrences of CLLJ along the west coast of Portugal and in the Bay of Biscay is projected to occur. The projected changes for the time slice 2071-2100 increase drastically in JJA (Fig. 2b). Offshore the northwest coast of Iberia an increase of around 14% and more is to be expected, whereas in most of the remaining Iberia west coast the increase

is about 10%. Along the west coast of Continental Portugal, in JJA, there is a projected increase of the offshore extension to the west. In SON (Fig. 2c) the projected increase of frequency of occurrence is identical to the spring.

Fig. 3 displays the statistics of JJA CLLJ for the end of the 21<sup>st</sup> century, comprising jet height, wind speed and wind direction histograms, and an east-west cross section for the mean wind speed when jet occurs.

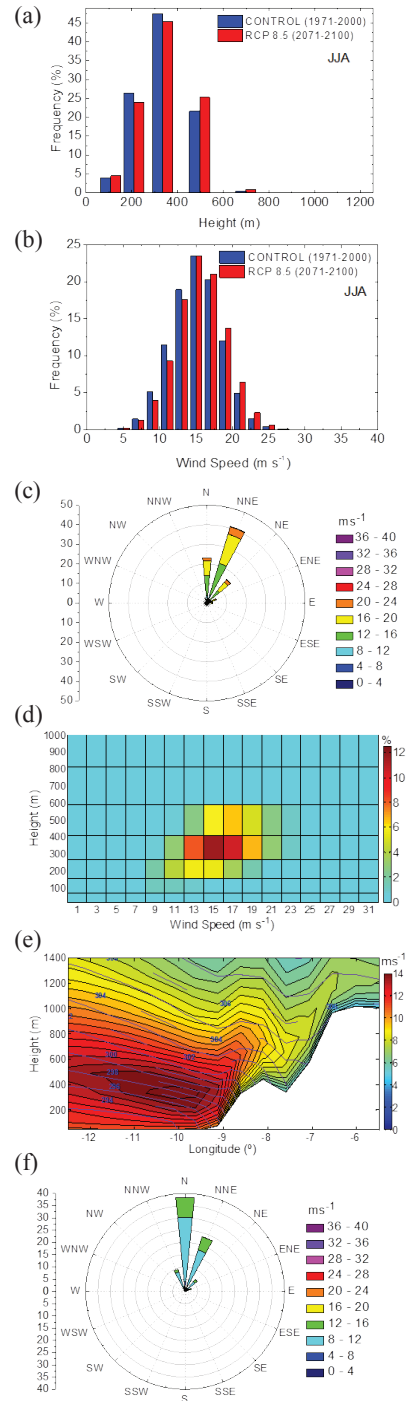


Fig. 3. Future CLLJ statistics (RCP8.5) for Summer (JJA): (a) jet height histogram (%), (b) jet wind speed histogram (%), (c) jet wind rose, (d) jet height-wind histogram (%), (e) east-west cross section at 37.05°N, colours for mean wind speed (m s<sup>-1</sup>) and isentropes (K), and (f) surface wind speed when jet occurs.



In The height of the “future” Iberian CLLJ (Fig. 3a) decreases within the lowest 500 m and increases above 500 m. There is an expected increase of the wind speed at the jet maxima above 15 m/s, and a decrease below 15 m/s (Fig. 3b). The wind speed at the Iberian CLLJ maxima is most of the times around  $15 \text{ ms}^{-1}$  (~24%). In the height-wind histogram (Fig. 3d), the strongest and more prevailing jets have a highest wind speed confined between 300 and 400 m levels with a wind speed between 12 – 20 m/s. The wind direction at the jet maximum (Fig. 3c) shows that the winds are mostly northerly to north-easterly (~20 and 40%, respectively). At the surface (Fig. 3f) the wind speed direction when jet occurs shows the predominance of the northerly winds (>35%). An east-west cross-section (Fig. 3e) shows the mean wind speed and mean isentropes when CLLJ occurs. The height of the jet core is around 400 m with a mean wind speed of the order of 14 m/s.

#### 4. SUMMARY AND CONCLUSIONS

In this study the distribution and seasonal variability of CLLJ in the Iberian Peninsula and the projected changes on the future climate was studied, using the CORDEX regional climate model simulations for the European domain at a horizontal resolution of  $0.44^\circ$ . The CLLJ statistics of the Iberian Peninsula were obtained with the CLLJ detection algorithm proposed in Ranjha et al. (2013).

The seasonal occurrences of CLLJ for MAM, JJA and SON (Fig. 1) showed that coastal jets are always more frequent during summer in the Iberian Peninsula: higher than 14%. In the intermediate seasons, the frequency of occurrences can reach 4%.

The differences between Future and Present climate (Fig. 2) showed a projected increase of the frequency of occurrence of the Iberian CLLJ along the west coast of the Peninsula, more relevant in the summer season with an expected increase of around 14%.

In the future, the Iberian CLLJ (Fig. 3) wind speed maximum is higher in height, a slight increase in the height of the jet maximum above 500 m and stronger in wind speed, an increase above 15 m/s. The wind speed direction at the surface when jet occurs is predominantly northerly and at the jet height is mostly north to north-easterly along the west coast during JJA.

#### Acknowledgements

The work on this study was pursuit in the framework of the SHARE project, financed by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT –

*Fundação para a Ciência e Tecnologia, Portugal*). All authors are part of the SHARE project.

#### REFERENCES

- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P., 2013: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Change*, 14:563-578, doi: 10.1007/s10113-013-0499-2.
- Ranjha, R., G. Svensson, M. Tjernström, and A. Semedo, 2013: Global distribution and seasonal variability of coastal low-level jets derived from ERA-Interim reanalysis. *Tellus A*, 65, doi:10.3402/tellusa.v65i0.20412.
- Ranjha, R., M. Tjernström, A. Semedo, G. Svensson, and R.M Cardoso, 2014: Structure and Variability of the Oman Coastal Low-Level Jet. Submitted to *Tellus A*.
- Riahi, K., S. Rao, V. Krey, C. Cho, V. Chirkov, G. Fischer, G. Kindermann, N. Nakicenovic, P. Rafaj, 2011: RCP 8.5–A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109:33-57, doi: 10.1007/s10584-011-0149-y
- Soares, P.M.M., R.M. Cardoso, A. Semedo, M.J. Chinita, R. Ranjha, 2014: Climatology of the Iberia coastal low-level wind jet: weather research forecasting model high-resolution results. *Tellus A*, 66, 22377, <http://dx.doi.org/10.3402/tellusa.v66.22377>
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller Jr., Eds., 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, 996 pp.

# Comparação de modelos hidrodinâmicos na modelação da sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica

R. Fonseca, M. Araújo e A. Trigo-Teixeira

CEHIDRO, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. rita.fonseca@ist.utl.pt

**Resumo:** As inundações costeiras e estuarinas, que se devem geralmente à sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica (storm surge), podem acarretar elevados danos, pelo que se justifica o seu estudo, nomeadamente através de modelos computacionais. Dada a variedade de modelos existentes, torna-se necessário avaliar a sua capacidade em modelar este fenómeno, o qual se tem tornado mais frequente nalguns locais da costa portuguesa. Neste trabalho, a modelação da sobrelevação do nível do mar foi realizada para a zona de Viana do Castelo, utilizando o modelo MIKE 21, para a tempestade que decorreu em Outubro de 1987. Os resultados obtidos por este modelo foram comparados com os do modelo ADCIRC. Foi utilizada uma malha não estruturada e um forçamento astronómico e meteorológico (pressão atmosférica e ventos). Os resultados obtidos reflectem as diferenças entre os dois modelos, que podem derivar da utilização de diferentes estratégias na resolução das equações de Navier Stokes.

**Palavras-chave:** MIKE 21, ADCIRC, malhas não estruturadas, storm surge, sobrelevação meteorológica

## 1. INTRODUÇÃO

A sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica é uma das principais causas das inundações costeiras, as quais podem levar a importantes prejuízos económicos. Estes fenómenos, principalmente os mais extremos, têm-se vindo a tornar cada vez mais frequentes nos últimos anos (Esteves *et al.*, 2010).

Consequentemente, torna-se necessário o estudo destes eventos, nomeadamente através da utilização de modelos hidrodinâmicos que consigam recriar a elevação da superfície do mar resultante dos eventos meteorológicos. Existem no mercado vários modelos, tornando-se interessante uma comparação entre eles.

Neste trabalho apresenta-se o estudo da sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica (storm surge) utilizando o modelo hidrodinâmico MIKE 21, bem como a sua comparação com o modelo ADCIRC incluído na interface SMS. O modelo MIKE 21 tem sido utilizado em estudos de natureza semelhante como Fei e Jayawardena (2009) e Elsaesser *et al.* (2010). Para que seja possível a comparação entre os 2 modelos, recorreu-se aos dados e resultados obtidos num estudo anterior (Araújo *et al.*, 2011), onde foi usado o ADCIRC.

Este trabalho incide assim sobre a zona costeira de Viana do Castelo, no norte de Portugal (Figura 1). Caracteriza-se pelo uso de uma malha não estruturada e forçamentos astronómicos e meteorológicos (pressão atmosférica e vento). O modelo foi inicialmente calibrado e validado para a componente astronómica, sendo os resultados obtidos comparados com os resultados provenientes

do modelo ADCIRC. A validação do modelo foi feita com base na tempestade ocorrida na costa portuguesa entre 14 e 16 de Outubro de 1987.

O marégrafo, através do qual foi possível a obtenção de dados para a calibração e validação do modelo, localiza-se no porto de Viana do Castelo, contudo em termos hidrodinâmicos é como se fosse em costa aberta.

## 2. DOMÍNIO E MALHA

O domínio de estudo encontra-se entre a costa norte portuguesa e o interior do oceano Atlântico, com latitudes entre 39,4°N e 43,1°N, e longitudes entre 8,7°W e 16,2°W (Figura 1).



Figura 1. Localização da área de estudo (adaptado de Araújo *et al.*, 2011)

Os dados da batimetria provêm de 2 fontes: desde a costa até à profundidade de 4000 m foram digitalizadas cartas náuticas portuguesas à escala 1:150000 e 1:1000000. Os restantes dados foram obtidos do Global seafloor database do Institute of Geophysics and Planetary Physics (Smith and

Sandwell, 1997). Os dados da batimetria são referentes ao nível médio do mar (NMM) e a fronteira terrestre foi fixada na batimétrica dos 4 m. Para que seja possível comparar os resultados dos 2 modelos, adoptou-se a malha de cálculo utilizada no estudo anterior (Araújo *et al.*, 2011). Trata-se de uma malha não estruturada baseada na batimetria, com aproximadamente 38000 nós e 73000 elementos. A dimensão dos elementos varia entre os 20 km nas zonas mais profundas e 250 m junto à costa.

### 3. MODELO HIDRODINÂMICO

O modelo utilizado neste estudo, o MIKE 21, baseia-se na solução das equações de Navier Stokes (equação da conservação da quantidade de movimento e da continuidade) resolvidas através do método dos volumes finitos (DHI, 2013a).

O modelo ADCIRC, com o qual se compararam os resultados, baseia-se igualmente na solução das equações de Navier Stokes. No entanto, neste caso a solução é obtida por meio do método dos elementos finitos (Luettich e Westerink, 2004).

Os métodos utilizados pelos dois modelos para solucionar as equações de Navier Stokes poderão estar na origem das diferenças entre os resultados obtidos. A comparação entre os 2 métodos, volumes finitos e elementos finitos, na aplicação da resolução das equações de Navier Stokes tem sido alvo de alguns estudos como Mulder (1996) e Lukáčová-Medvid'ová e Teschke (2006).

### 4. ORIGEM DOS DADOS

Para a calibração e validação do modelo, foram adquiridos os registos da elevação do nível do mar do marégrafo do porto de Viana do Castelo, com a resolução temporal de 1 h. As elevações da superfície do mar obtidas a partir dos registos do marégrafo incluem a componente astronómica e meteorológica. Para extrair a componente astronómica foi utilizado o software T\_TIDE (Pawlowicz *et al.*, 2002).

No modelo hidrodinâmico, o forçamento astronómico ao longo da fronteira oceânica foi derivado do modelo global de marés DTU10, desenvolvido pela Universidade Técnica da Dinamarca (Cheng e Andersen, 2010) inserido no modelo MIKE 21.

Os forçamentos meteorológicos (pressão atmosférica ao NMM e velocidade e direcção do vento a 10 m acima da superfície do mar) foram obtidos a partir da reanálise ERA-Interim do ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecasts). Os dados possuem uma resolução espacial de  $0,75^\circ \times 0,75^\circ$  e uma resolução temporal de 6 h.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Calibração e validação do modelo para o forçamento astronómico

A calibração do modelo foi feita usando apenas o forçamento astronómico na fronteira oceânica, abrangendo o período do evento em estudo. Este forçamento foi introduzido através da ferramenta de previsão da maré astronómica do MIKE 21 Toolbox, usando como input os dados do modelo DTU10 com uma resolução espacial de  $0,125^\circ$ . Foram utilizados todos os constituintes harmónicos da maré existentes no DTU10: M2, S2, K2, N2, O1, P1, Q1, K1, S1 e M4. Os forçamentos astronómicos daí obtidos possuem uma resolução temporal de 0,5 h.

Na calibração do modelo analisaram-se 2 parâmetros, começando pela sua sensibilidade à rugosidade de fundo. O MIKE 21 FM (Flexible Mesh) apenas permite o uso da formulação quadrática para a rugosidade de fundo. Optou-se por se trabalhar com o coeficiente de Chezy ao invés do de Manning, por o primeiro permitir uma relação directa com o coeficiente de atrito utilizado pelo ADCIRC.

Em segundo lugar analisou-se a sensibilidade do modelo à variação do parâmetro da viscosidade turbulenta horizontal (horizontal eddy viscosity). O MIKE 21 permite a escolha entre a formulação de Smagorinsky e a Constant eddy. Optou-se pela formulação de Smagorinsky por ser aquela que causou a menor instabilidade no modelo.

A variação de ambos os parâmetros, viscosidade turbulenta e rugosidade, e da sua formulação não levou a alterações significativas nos resultados.

O MIKE 21 apresenta 2 tipos de esquemas numéricos: o “low order” (menos tempo de simulação e menos precisão nos resultados) e o “higher order” (maior precisão nos resultados e maior tempo de simulação) (DHI, 2013b). Condicionamentos de tempo de cálculo levaram à utilização do primeiro tipo de solução.

Na Figura 2 encontra-se o gráfico com os resultados do output do T\_TIDE e do modelo MIKE 21. Os resultados do modelo correspondem a uma simulação com um coeficiente de Chezy de  $70 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$  (o qual corresponde ao coeficiente de atrito utilizado em Araújo *et al.*, 2011) e um coeficiente de Smagorinsky de 0,5, ambos constantes em todo o domínio. A simulação foi feita com um passo de cálculo de 30 s e compreende o período de 11 dias, incluindo a ocorrência de marés vivas e marés mortas. Foram ainda considerados 2 dias adicionais no início da simulação correspondentes à estabilização do modelo (warm-up).

Como se pode observar na Figura 2, os resultados obtidos pelo modelo apresentam um bom ajuste aos dados obtidos pelo marégrafo (componente

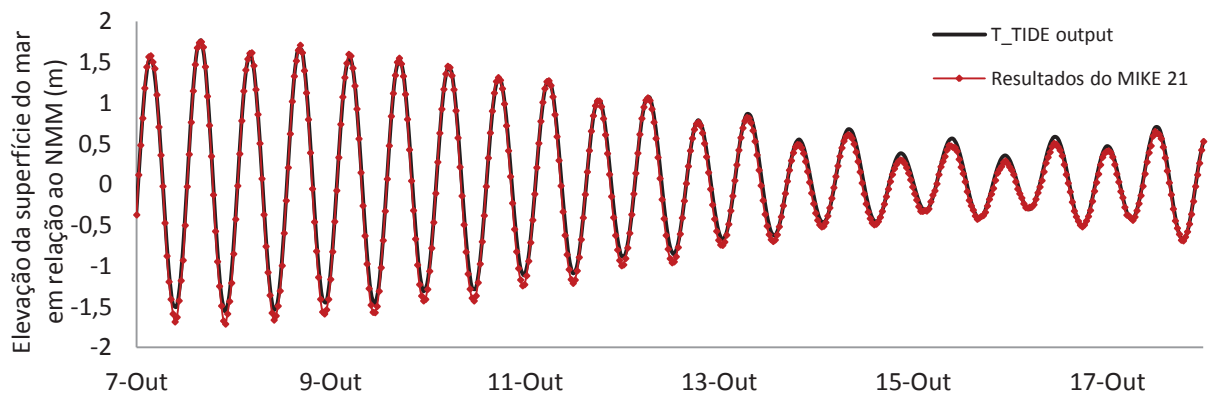


Figura 2. Elevações registadas pelo marégrafo (curva a preto) e obtidas pelo modelo MIKE 21 (curva a cinzento), para a componente astronómica.

astronómica), tanto em termos de fase como de amplitude. A maior diferença entre a maré modelada e a medida pelo marégrafo é de aproximadamente 18 cm e ocorre em marés vivas (aproximadamente 6% da amplitude). Em Araújo *et al.* (2011) o maior erro obtido na simulação com o forçamento astronómico foi de 7 cm. Comparando os dois resultados, conclui-se que os resultados do ADCIRC se ajustam ligeiramente melhor aos dados observados pelo marégrafo. Note-se no entanto que os resultados obtidos pelo modelo MIKE 21 se referem à solução do tipo “low order”, que como se referiu apresenta resultados de inferior qualidade relativamente aos da solução “higher order”.

### 5.2. Simulação com o forçamento meteorológico

Simulou-se a malha anterior com ambos os forçamentos astronómico e meteorológico (ventos e pressões atmosféricas). O forçamento correspondente à pressão foi aplicado através do efeito do barómetro invertido. A acção do vento foi considerada através da aplicação de um tensor na

superfície do mar (DHI, 2013a), o qual depende da velocidade do vento e do coeficiente de arrastamento do ar  $C_D$ . Optou-se por um valor de  $C_D$  com uma variação linear ao longo do domínio e do tempo, e que dependente da velocidade do vento. Para definir a função de variação de  $C_D$  adoptaram-se os valores predefinidos pelo MIKE 21. Na fronteira oceânica foram aplicados os forçamentos astronómicos, tal como foi feito para a calibração do modelo.

Os parâmetros da rugosidade e viscosidade turbulenta obtidos na calibração do modelo foram mantidos. A simulação decorreu durante o período de 13 a 17 de Outubro de 1987 (para além de um warm-up inicial de 4 dias), aquando da tempestade referida anteriormente, para um passo de cálculo de 30 s.

Para obter a sobrelevação de origem meteorológica subtraiu-se o resultado das elevações com o forçamento astronómico ao resultado com ambos os forçamentos (astronómico e meteorológico). Os resultados obtidos encontram-se na Figura 3.

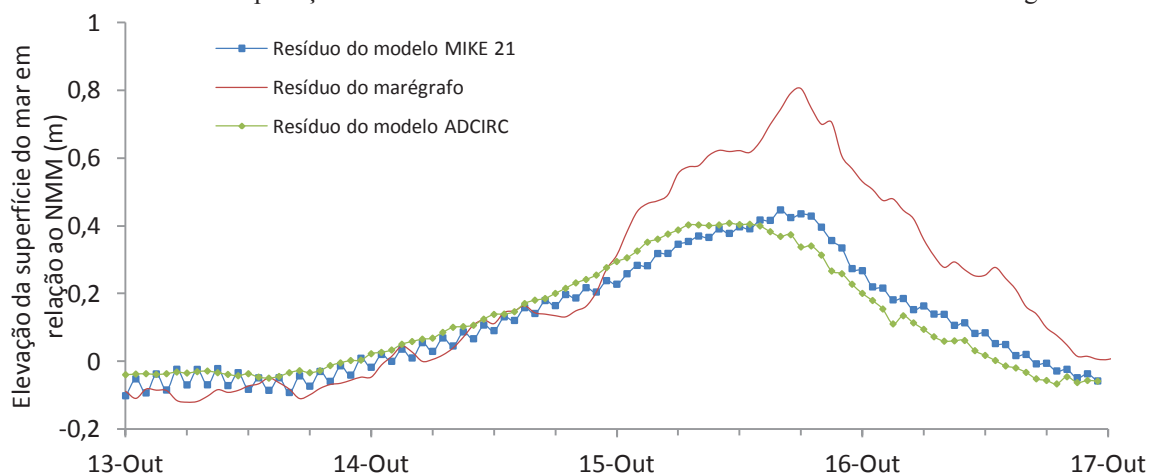


Figura 3. Sobrelevação de origem meteorológica observada pelo marégrafo e obtida pelos modelos ADCIRC e MIKE 21 para a tempestade de Outubro de 1987

Nas curvas obtidas pelos 2 modelos é possível observar a sobrelevação da superfície do mar (resíduos) correspondente às baixas pressões que

caracterizam a tempestade, já que na costa portuguesa a contribuição dos ventos para este tipo de fenómenos (storm surge) é muito inferior (Rolim



et al., 2014). O valor máximo da sobrelevação, aplicando o MIKE 21, é de 44 cm, o qual corresponde a uma contribuição de aproximadamente 44% para a elevação total, enquanto usando o ADCIRC foi de 40 cm. Ainda assim note-se que os resultados, tal como no caso do modelo ADCIRC, subestimam as sobrelevações em relação aos valores observados pelo marégrafo.

Ao comparar os resultados obtidos pelos 2 modelos pode-se observar que as curvas se encontram ligeiramente desfasadas uma da outra. A curva do MIKE 21 encontra-se melhor alinhada com a dos dados do marégrafo, apresentando picos de sobrelevação aproximadamente no mesmo instante. No entanto os resultados obtidos pelo MIKE 21 apresentam uma ligeira oscilação ao longo da curva. Esta oscilação poderia ser explicada pelo facto de o modelo ainda não se encontrar estabilizado no início do dia 13. Numa tentativa de a eliminar a oscilação aumentou-se o tempo de warm-up da simulação de 2 para 4 dias. Esta alteração permitiu diminuir as oscilações, ainda que estas não tenham sido completamente eliminadas como se pode ver pelo gráfico da Figura 3.

## 6. CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentou-se o estudo da sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica (storm surge) através do modelo hidrodinâmico MIKE 21, bem como uma análise comparativa entre os resultados deste modelo e os do ADCIRC.

O modelo MIKE 21 demonstrou a capacidade de descrever a elevação da superfície do mar quer devida ao forçamento astronómico, quer aos meteorológicos. Em relação á simulação com os forçamentos astronómicos, o MIKE 21 apresenta resultados com um bom ajuste aos observados pelo marégrafo, mesmo com a solução “low order”. O ajuste dos resultados aos dados obtidos pelo marégrafo é melhor no caso do ADCIRC, ainda que a diferença seja pouco significativa face á amplitude da onda de maré.

No caso da simulação com o forçamento astronómico e meteorológico, é o modelo MIKE 21 que apresenta um andamento com um melhor ajuste aos dados obtidos pelo marégrafo. Os resultados mostram que, no pico da sobrelevação, o forçamento meteorológico contribui com cerca de 44% para a elevação total da superfície do mar. No entanto, os valores obtidos ainda são bastante inferiores aos observados pelo marégrafo de Viana do Castelo. Será por isso interessante investigar no futuro a qualidade dos resultados apresentados pela solução “higher order”, com ênfase para uma possível melhoria da subestimação dos valores da sobrelevação de origem meteorológica.

## REFERÊNCIAS

- Araújo, M.A., Mazzolari, A., e Trigo-Teixeira, A. (2011). Wave setup in the modeling of storm surge at Viana do Castelo (Portugal). *Journal of Coastal Research*, SI 64, 971-975.
- Cheng, Y., e Andersen, O. (2010). *Improvement in global ocean tide model in shallow water regions*. OST-ST meeting “Altimetry for Oceans and Hydrology”, Poster, SV.1-68 45, Lisbon.
- DHI, (2013a). *MIKE 21 & 3 FLOW MODEL FM Hydrodynamic and Transport Module Scientific Documentation*. Danish Hydraulic Inst. 52 pp.
- DHI, (2013b). *MIKE 21 FLOW MODEL FM*. Danish Hydraulic Institute. 132 pp.
- Elsaesser, B., Bell, A. K., Shannon, N. e Robinson, C. (2010). Storm surge hind- and forecasting using Mike21FM - simulation of surges around the Irish Coast. *DHI Int. User Conf.*, Copenhagen.
- Esteves, R., Silva, F., Pinto, J., e Costa, M. (2010). Caracterização de eventos extremos de agitação marítima em Portugal Continental. *Actas das 1<sup>as</sup> Jornadas de Eng.Hidrográfica*, Lisboa, 205-208.
- Fei, X. e Jayawardena, A. W. (2009). Hydraulic modelling of Nenjiang River floodplain in northeast China. Disponível em [http://www.icharm.pwri.go.jp/training/master/publication/pdf/2009/4.synopsis\\_mee08181\\_xiao.pdf](http://www.icharm.pwri.go.jp/training/master/publication/pdf/2009/4.synopsis_mee08181_xiao.pdf).
- Mulder, W.A. (1996). A comparison between higher-order finite elements and finite differences for solving the wave equation. *ECCOMAS 96*, Paris.
- Lukáčová-Medvid'ová, M., e Teschke, U. (2006). Comparison study of some finite volume and finite element methods for the shallow water equations with bottom topography and friction terms. *Journal of Applied Mathematics and Mechanics /Zeitschrift für Angewandte Mat.und Mechanik.*, 86, 874-891.
- Luetlich, R.A., e Westerink, J.J. (2004). *Formulation and numerical implementation of the 2D/3D ADCIRC finit element model, version 44/XX*. 74 pp.
- Pawlowicz, R.; Beardsley, B., e Lentz, S. (2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T-TIDE. *Computers & Geosciences*, 28, 929-937.
- Rolim, J., Araújo, M.A.V.C. e Trigo-Teixeira, A. (2014). Simulation of a storm surge event in the Tagus estuary. *3rd LAHR Europe Congress*, Porto, Portugal.
- Smith, W., e Sandwell, D. (1997). Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, 277, 1957-1962.

## Observações e cálculo do *runup* na praia de Mira

P.A. Silva<sup>(1)</sup>, P. Pereira<sup>(1)</sup>, P.R. Baptista<sup>(2)</sup>, L. Tubarão<sup>(1)</sup>, C. Bernardes<sup>(2)</sup>, B. Pedrosa<sup>(1)</sup>, J. P. Barbosa<sup>(3)</sup>, T. Abreu<sup>(4)</sup> e S. Gabriel<sup>(5)</sup>

- (1) CESAM & Departamento de Física, Universidade de Aveiro. psilva@ua.pt  
 (2) CESAM & Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro  
 (3) Universidade Lusófona Porto, CICGE  
 (4) CESAM & Departamento de Eng.<sup>a</sup> Civil, ISEP – IPP  
 (5) Universidade do Algarve, CIMA.

**Resumo:** A zona de espraio desempenha um importante papel na interação entre a praia imersa e emersa e nas variações topo-batimétricas decorrentes. O conhecimento do nível mais elevado que a água atinge na zona de espraio permite estabelecer possíveis interações das ondas com as dunas, as arribas e as estruturas longitudinais de engenharia para proteção costeira (enrocamentos). Com o objetivo de caracterizar o *runup* na praia de Mira, foram efetuadas medições da extensão do espraio, da elevação da superfície livre da água e levantamentos topográficos. Para estimar o *runup* foram consideradas diferentes formulações que têm em consideração a elevação da superfície livre associada à maré, a altura e o período da ondulação e o declive da face da praia. Neste trabalho são apresentados os dados de campo e é analisado o desempenho das formulações em reproduzir o *runup* no local em estudo.

**Palavras-chave:** *Runup*, campanhas de campo, simulação

### 1. INTRODUÇÃO

O espraio numa praia corresponde à zona que está intermitentemente coberta por água. Nesta zona, o escoamento decorre em duas fases distintas (o espraio propriamente dito e o refluxo), sob a ação de diferentes processos, apresentando velocidades consideráveis e taxas de transporte sedimentar mais elevadas do que as observadas em outros subambientes da praia. É também nesta zona que a energia das ondas disponível na rebentação é transformada em energia potencial. O nível máximo que a água atinge durante o espraio é comumente denominado de *runup*,  $R$ . Este nível é referido ao nível médio do mar que ocorreria na ausência da ondulação, e tem duas contribuições: uma relativa à sobrelevação associada à ondulação (*wave setup*) e outra relativa ao espraio das ondas. O nível médio do mar (NM) por seu turno é determinado pelo nível da maré astronómica ao qual se poderá sobrepor uma perturbação de origem meteorológica, associada ao vento ou à pressão atmosférica. Assim, define-se como cota máxima de inundação a soma das contribuições do *runup* e do nível médio do mar. Os valores de  $R$  são variáveis no tempo decorrentes do caráter aleatório das ondas. Será de esperar que às ondas de maior amplitude e período correspondam maiores valores de  $R$ . Contudo, o espraio depende da inclinação da face da praia. Em praias com declive acentuado (praias refletivas, para valores do número de Iribarren,  $\zeta_0$ , superiores a 1.25; Stockdon *et al.*, 2006) o escoamento na zona de espraio é determinado pelas ondas incidentes de curto período (frequências superiores a 0.05Hz). Em praias dissipativas ( $\zeta_0 < 0.3$ ) as ondas são dissipadas na rebentação e o espraio é determinado por ondas de maior período associados aos grupos de ondas

(frequência inferior a 0.05Hz), não saturadas, denominadas de ondas infragravíticas (e.g., Stockdon *et al.*, 2006; Rocha *et al.*, 2013). Em praias intermédias os eventos de espraio têm periodicidades associadas às ondas de curto período e de longo período.

A dependência do *runup* na altura da onda e no número de Iribarren foi reconhecida desde os primeiros trabalhos realizados na década de 50, tendo-se desde então proposto formulações empíricas para o cálculo de  $R$  com a seguinte forma genérica:

$$R = aH_s\zeta_0 + b \quad (1)$$

onde  $H_s$  representa a altura significativa das ondas ao largo, e o número de Iribarren é calculado em função de  $H_s$ , do comprimento de onda em águas profundas (calculado em função do período de pico da ondulação) e do declive da face da praia,  $m$ :

$$\zeta_0 = m / \sqrt{H_s / L_0} \quad (2)$$

As formulações propostas por Holman (1986) Nielsen e Hanslow (1991), Masselink e Hughes (2003), Stockdon *et al.* (2006) e Teixeira (2009) consideram valores para  $a$  de 0.83, 1.18, 0.9, 0.8 e 1.08, respetivamente. A formulação de Holman (1986) considera  $b=0.2 H_s$ , sendo para todas as outras  $b=0$ . Esta formulação foi estabelecida para condições de praia intermédia/refletiva ( $\zeta_0 = 1.44$ ). A de Teixeira (2009) foi obtida com base num conjunto de medições do nível máximo do espraio em praias do litoral sul do Algarve para valores do declive da face da praia compreendidos entre 0.016 e 0.1 correspondendo a praias dissipativas/intermédias para as condições médias de ondulação nessa costa. As formulações de Nielsen e Hanslow (1991) e de Stockdon *et al.*, (2006) foram definidas para condições mais gerais, englobando o caso de

praias refletivas e intermédias, para as quais propuseram a Eq. (1), bem como para praias dissipativas. Neste último caso, os melhores ajustes de  $R$  aos valores experimentais indicaram que o declive da face da praia deveria ser excluído e propuseram a seguinte expressão:

$$R = a\sqrt{H_s L_0} \quad (3)$$

com  $a \approx 0.05$ . Mais recentemente, têm sido propostas alterações às expressões anteriores de forma a aumentar a sua precisão: por exemplo, Cox *et al.* (2013) estudaram a influência das barras litorais na amplitude das ondas infragravíticas e Guza e Feddersen (2012) a dependência do *runup* das ondas infragravíticas na dispersão da direção de incidência da ondulação e da dispersão em torno da frequência de pico.

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar o *runup* a partir da análise de dados experimentais medidos em campo e avaliar o desempenho das formulações empíricas anteriormente descritas. Estes resultados serão posteriormente considerados para a elaboração de um sistema de alerta a inundações e galgamento costeiro no sector considerado.

## 2. ZONA DE ESTUDO E MEDIÇÕES

A zona de estudo está localizada no setor costeiro entre a praia de Mira e o esporão do Poço da Cruz, a cerca de 20 km a sul da barra de Aveiro. As medições do espraio, efetuadas num transepto situado a meio do sector, foram realizadas em 2013, 14 de Janeiro (Jan), 28 de Fevereiro (Fev), 14 de Maio (Mai) e 18 de Novembro (Nov). As campanhas foram efetuadas em diferentes condições de ondulação e, na quase totalidade dos casos, em situação de marés vivas. Simultaneamente com as medições do espraio foram adquiridos dados da elevação da superfície livre da água, com transdutores de pressão instalados ao longo do transepto, de correntes com um correntómetro eletromagnético e da concentração de sedimentos em suspensão com sondas óticas OBS. As medições foram complementadas com levantamentos topográficos, com recurso a um sistema de GPS. Foram também obtidos para essas datas, os valores da elevação da superfície livre do mar associada à maré e dados de ondulação registados ao largo.

### 2.1. Maré

Os valores do nível da elevação da superfície livre, associada à maré, foram sintetizados a partir dos principais constituintes harmónicos da maré na barra de Aveiro. Considerou-se que a amplitude da maré calculada é representativa para a zona de estudo e a fase foi corrigida mediante a comparação com o sinal medido nos transdutores de pressão instalados no local. Verificou-se um atraso de cerca de 12 min para as três primeiras campanhas e de 24 min na quarta campanha entre a fase da preia-mar observada no local e a maré astronómica na barra de Aveiro.

As campanhas de Jan, Fev e Nov decorreram em condições de marés vivas (2.89, 2.76 e 2.42 m de altura, respetivamente) e a de Mai em condições de maré intermédia (1.87 m de altura). A Figura 1 representa para cada perfil topográfico do transepto os valores máximos e mínimos da elevação da maré.

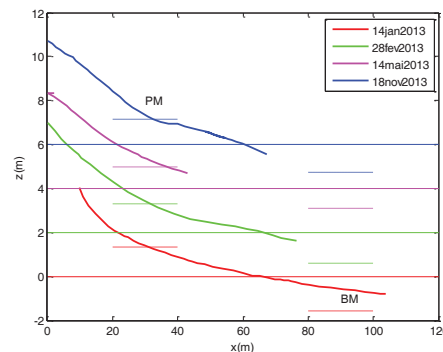


Fig. 1. Perfis topográficos no transepto referidos ao nível médio do mar (offset de 2m em cada perfil). Os níveis da preia-mar (PM) e baixa-mar (BM) são indicados pelas linhas a tracejado.

### 2.2. Ondulação

Os valores de  $H_s$  e do período de pico,  $T_p$ , nos dias das campanhas foram obtidos a partir dos registos da boia ondógrafo de Leixões em intervalos de 3 horas (fonte Instituto Hidrográfico). A Tabela I apresenta os valores médios daqueles parâmetros, verificando-se que as campanhas de Jan e de Mai foram efetuadas em condições de ondulação mais energéticas do que as de Fev e de Nov.

Tabela I. Valores médios de  $H_s$ ,  $T_p$ , declive da face da praia ( $m$ ), número de Iribarren ( $\zeta_0$ ) e do *runup* ( $R$ ) medido durante as observações.

	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	$m$	$\zeta_0$	$R$ (m)
14 Jan	2.0	10.6	0.042	0.39	1.44
28 Fev	1.4	11.2	0.044	0.53	1.06
14 Mai	3.3	14.4	0.047	0.46	1.78
18 Nov	1.5	12.1	0.055	0.69	0.74

### 2.3. Levantamentos Topográficos

Os levantamentos foram efetuados com o sistema INSHORE (Baptista *et al.*, 2011) para todo o setor entre a Praia de Mira e o Poço da Cruz e, em particular, para o transepto onde foram realizadas as observações (Figura 1). Os levantamentos foram realizados nos dias das campanhas em baixa-mar antes do registo dos outros parâmetros.

Os valores do declive da face da praia,  $m$ , foram estimados em cada instante pelo declive do perfil no local onde o nível da maré o intercepta. O declive médio foi determinado a partir da média destes valores, entre os níveis de PM e BM (Tabela I). Nalguns casos (por exemplo, na campanha de Maio), a extensão do perfil da praia, entre os níveis de BM e PM, é pequeno e o valor médio pode não ser representativo das condições existentes. O número de Iribarren foi calculado a partir dos valores de  $m$ ,  $H_s$  e  $T_p$  (Tabela I). De acordo com a classificação adotada em Stockdon *et al.* (2006), todos os casos correspondem a condições intermédias ( $0.3 < \zeta_0 <$

1.25) mas, em Jan e Mai o perfil apresenta-se mais dissipativo e em Fev e Nov mais refletivo.

#### 2.4. Runup

Em cada campanha efetuaram-se medições intervaladas de meia hora da distância entre a extensão máxima do espraio ( $d$ ) e um ponto de referência. Para tal colocou-se uma série de estacas distanciadas de 10m ao longo do perfil. O valor de  $d$  corresponde à média das posições máximas atingidas pela linha de água durante 5min nos instantes de observação, tendo sido estimadas através de observação visual. O valor correspondente ao nível máximo de espraio,  $R$ , foi calculado diminuindo o nível correspondente a  $d$  e o nível da maré astronómica. Os valores de  $R$  assim calculados integram a informação da sobrelevação associada às ondas e do espraio; dado que não foi colocado um sensor de pressão antes da zona de rebentação não é possível distinguir a contribuição de cada um destes termos para o *runup*. Os valores médios do *runup* estão indicados na Tabela I.

### 3. RESULTADOS

A Figura 2 apresenta os valores do nível da maré (NM), dos parâmetros da ondulação incidente ( $H_s$  e  $T_p$ ), dos parâmetros topográficos (declive da face da praia no nível da maré e  $\zeta_0$ ) e do *runup* nos instantes de observação das campanhas de Jan e Fev. Os resultados obtidos nas campanhas de Mai e de Nov são semelhantes a estes. O valor médio do *runup* é proporcional à altura significativa da ondulação incidente, como se pode verificar na Tabela I. Contudo, a evolução temporal do máximo de espraio durante o ciclo de maré não segue a tendência de  $H_s$ , mas apresenta uma dependência no declive da praia e no número de Iribarren, sobretudo nas campanhas de Fev e Nov. Em geral, os perfis apresentam declives mais acentuados para os níveis mais elevados atingidos pela água (Fig.1). Por essa razão é de esperar que  $R$  apresente uma variação temporal coerente com NM. Contudo, os resultados das campanhas indicam que os valores máximos de  $R$  antecedem os instantes de preia-mar. Relativamente à campanha de Jan, o aumento significativo de  $R$  observado em praia-mar não é acompanhado por uma variação de  $\zeta_0$  ou de  $H_s$  que o justifique. Este facto é também observado na campanha de Maio.

### 4. ESTIMATIVA DO RUNUP

A Figura 3 representa a comparação dos valores medidos do *runup* com os calculados pela Eq. (1) de acordo com as formulações de Holman (1986) (H), Nielsen e Hanslow (1991) (NH), Masselink e Hughes (2003) (MH), Stockdon *et al.* (2006) (S) e Teixeira (2009) (T). A linha a tracejado representa a solução de S para praias dissipativas, Eq. (3). Note-se que o critério considerado em NH para praias dissipativas é  $m < 0.1$ , pelo que as soluções obtidas estão sempre nestas condições.

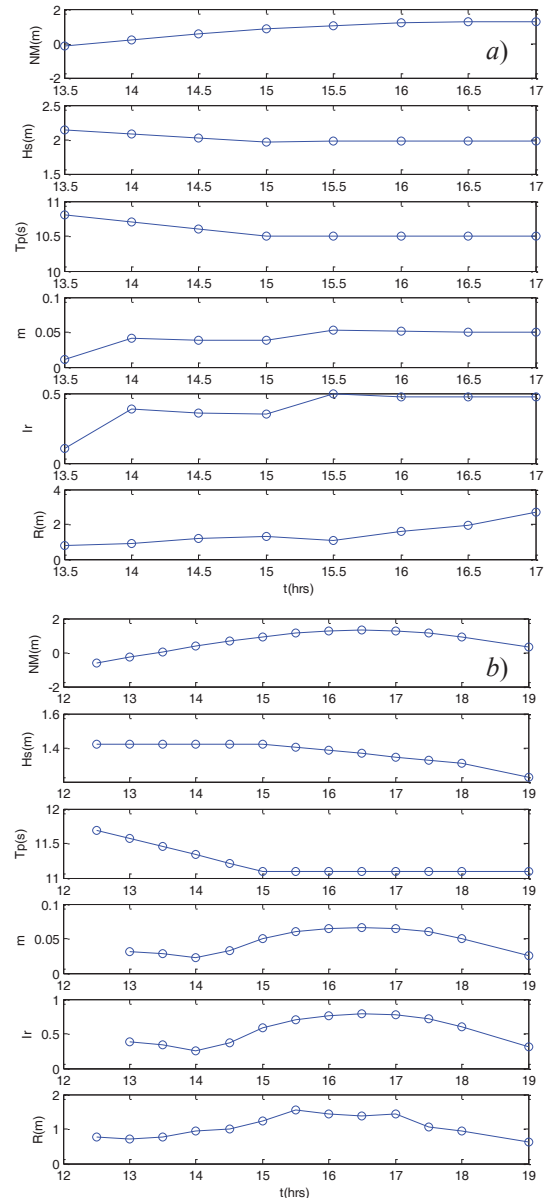


Fig. 2. Variação temporal do nível da maré (NM) referida ao nível médio do mar, de  $H_s$ ,  $T_p$ ,  $m$ ,  $\zeta_0$  e  $R$  durante as campanhas de (a) Jan e (b) Fev.

Os resultados obtidos com as formulações de H, MH, S e T, baseadas na Eq. (1), são semelhantes e descrevem bem a variabilidade do *runup* observado durante o ciclo de maré. Para as campanhas de Fev e Nov, a Eq. (1) simula razoavelmente os valores máximos de  $R$  observados. As formulações baseadas na Eq.(3), para praias dissipativas (NH e S) não se adequam aos valores experimentais, mesmo para as condições de praia mais dissipativa observadas em Jan. Os valores máximos de  $R$ , registados durante a enchente em Jan e Mai, não foram reproduzidos por nenhuma das formulações consideradas. Foram também calculados os valores de  $R$  quando se considera, na Eq. (1), o declive da face da praia médio (Tabela I) mas os resultados não descreveram as observações.



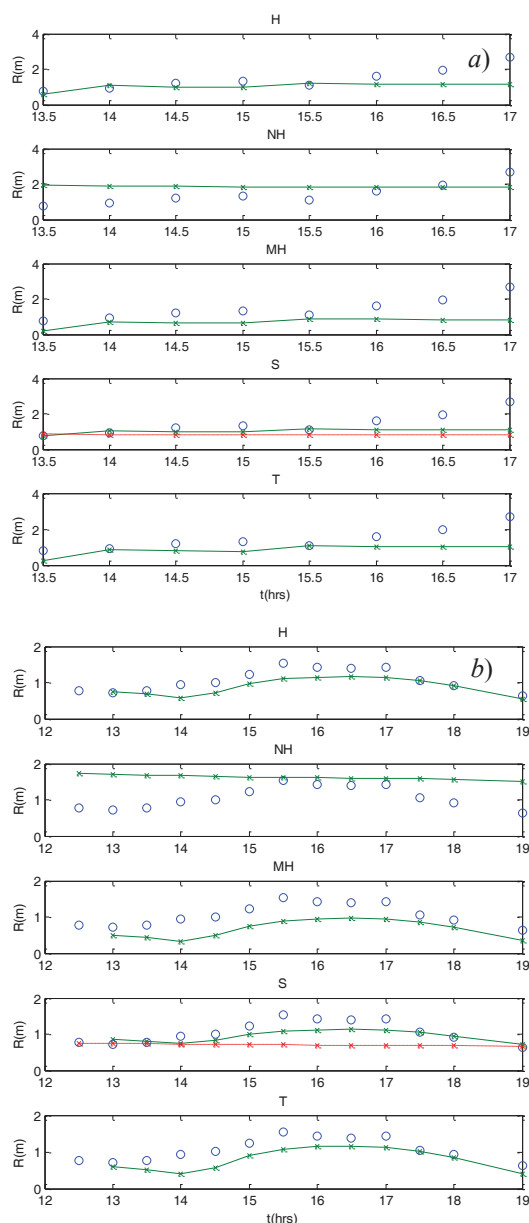


Fig. 3. Comparação dos valores  $R$  observados (o) e os calculados (+) com as formulações para as campanhas de (a) Jan e (b) Fev..

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os valores de  $R$  observados apresentam uma dependência na altura significativa da onda ao largo e no declive da face da praia correspondente ao nível da maré. As formulações com base na Eq. (1) descrevem a variabilidade de  $R$  ao longo do ciclo de maré, sendo adequadas para simular o *runup* nesta praia para as condições de agitação marítima registadas. Contudo, os valores máximos do *runup* observados em condições de agitação marítima mais elevadas (Jan e Mai) não são adequadamente reproduzidos, o que significa que a dependência no declive local é menor. A Figura 4 representa os valores de  $R$  em função de  $H_s$ ,  $\zeta_0$  para todos os pontos experimentais das campanhas. O ajuste linear entre estes valores mostra que a Eq. (1) constitui um bom modelo para estimar os valores do *runup*, quando se excluem os valores máximos de  $R$

observados e correspondentes às campanhas de Jan e Maio (indicados a vermelho na figura). Estas condições extremas devem ser estudadas em futuros trabalhos.

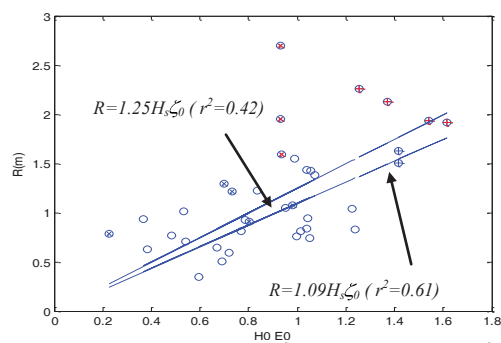


Fig. 4.  $R=f(H_s, \zeta_0)$ : (a)  $R=1.25H_s \zeta_0$  ( $r^2=0.42$ ); (b)  $R=1.09H_s \zeta_0$  ( $r^2=0.61$ )

## Agradecimentos

Rita Nolasco pela cedência dos dados maré; COMPETE; PEST-C/MAR/LA0017/2013; Paulo Baptista foi financiado pela bolsa SFRH/BPD/63141/2009; PTDC/CTE-GIX/111230/2009 - EROS.

## REFERÊNCIAS

- Baptista, P.; Bernardes, C; Cunha, T. R. (2011). The validation analysis of the INSHORE system — a precise and efficient coastal survey system. *Env. Monitor. and Ass.* 179, 1-4: 589 - 604.
- Cox, N., Dunkin, L.M. e Irish, J.L.(2013). An empirical model for infragravity swash on barred beaches. *Coastal Engineering*, 81, 44-50.
- Guza, R.T. e Feddersen, F. (2012). Effect of wave frequency and directional spread on shoreline runup. *Geophysical Research Letters*, 39.
- Holman, R.A. (1986). Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach. *Coastal Eng.* 9, 527-544.
- Masselink, G. e Hughes, M.G. (2003). *Introduction to coastal processes and geomorphology*. Arnold, London. 354 pp.
- Nielsen, P. e Hanslow, D.J. (1991). Wave runup distributions on natural beaches. *J. of Coastal Res.* 7 (4), 1139-1152.
- Rocha, M.V.L., Michallet, H., Silva, P.A., Abreu, T. e Barthelemy, E. (2013). Nonlinearities of short and long waves across the shoaling, surf and swash zones: physical model results. *Proc. of the Conf. on Coastal Dynamics*.
- Stockdon, H.F., Holman, R.A., Howd, P.A. e Sallenger Jr., A.H. (2006). Empirical parameterization of setup, swash and runup. *Coastal Eng.*, 53, 573-588.
- Teixeira, S. (2009). *Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve*. ARH Algarve, Departamento de Recursos Hídricos do Litoral, 207pp.

# Galgamento do quebra-mar poente de Albufeira: Comparação entre o modelo numérico SPH e medições de campo

E. Didier<sup>(1,2)</sup>, O. Ferreira<sup>(3)</sup>, J. Dias<sup>(1)</sup>, D. Neves<sup>(1)</sup>, A. Carrasco<sup>(3)</sup>, M. Reis<sup>(1)</sup> e M. Neves<sup>(1)</sup>

(1) LNEC. edidier@lnec.pt

(2) UNIDEMI, FCT-UNL.

(3) CIMA/UALG.

**Resumo:** Os modelos SPH (*Smoothed Particle Hydrodynamics*), baseados na formulação Lagrangiana das equações da Dinâmica dos Fluidos, são uma opção atractiva para modelar escoamentos com superfície livre, pois não necessitam de malha computacional, permitindo modelar fenómenos complexos, como a rebentação de ondas e o galgamento. Neste trabalho apresenta-se o modelo numérico SPHyCE em desenvolvimento no LNEC e a sua aplicação à determinação do galgamento no quebra-mar poente do Porto de Pesca de Albufeira (Algarve), no qual foram realizadas as primeiras campanhas de medição de galgamento num quebra-mar em Portugal no âmbito do projecto SPACE (Desenvolvimento e validação de um modelo SPH para aplicações a estruturas costeiras). Apresenta-se a metodologia de acoplamento dos modelos SWAN, Bouss2D e SPHyCE, para modelar a propagação das ondas do largo até ao quebra-mar, assim como as campanhas de campo. São analisados e comparados os galgamentos obtidos com o modelo numérico e os medidos.

**Palavras-chave:** Smoothed Particle Hydrodynamics, galgamento, quebra-mar, dados de campo.

## 1. INTRODUÇÃO

Os modelos numéricos têm vindo a desenvolver-se no sentido de aproximar os cenários simulados às condições físicas observadas. Contudo, devido à complexidade dos fenómenos envolvidos no caso da propagação de ondas e da interacção com estruturas costeiras, convém adoptar uma metodologia de acoplamento que conjugue as potencialidades e especificidades de diferentes modelos numéricos.

Apresenta-se uma técnica de acoplamento dos modelos SWAN, Bouss-2D e SPHyCE, para modelar a propagação das ondas do largo até ao quebra-mar poente do porto de Albufeira (Fig. 1) e calcular o galgamento.



Fig. 1. Porto de Albufeira, Algarve, e posição da secção monitorizada no quebra-mar poente do Porto de Albufeira.

A metodologia PCM (*Probability Calculation Method*), proposta por Goda (2000), é adoptada para modelar a agitação marítima irregular no modelo SPHyCE. Os resultados numéricos de galgamento são comparados com dados recolhidos *in situ* aquando da ocorrência de galgamentos no local.

## 2. MODELO NUMÉRICO INTEGRADO

O modelo numérico integrado é constituído por três modelos numéricos acoplados passivamente, transferindo a informação de agitação de um para o outro em cascata: o modelo SWAN, que permite modelar a propagação das ondas do largo até às proximidades da costa; o modelo Bouss-2D que simula a propagação das ondas até às proximidades do quebra-mar; e o modelo SPHyCE que permite modelar a interacção entre a onda incidente e o quebra-mar.

### 2.1. Modelo de propagação de ondas SWAN

O modelo SWAN (*Simulating WAVes Nearshore*) é um modelo numérico espectral para geração, propagação e dissipação da agitação marítima, baseado na equação da conservação da acção de onda (Booij *et al.*, 1999). O modelo SWAN é capaz de simular a propagação da agitação marítima desde o largo até próximo da costa considerando os processos físicos de refacção, difracção e empolamento devido a variações do fundo, rebentação por influência do fundo e por excesso de declividade (*whitecapping*), dissipação de energia devido ao efeito da fricção do fundo, e transmissão através de obstáculos. O modelo pode ser executado em modo estacionário ou não estacionário.

### 2.2. Modelo de propagação de ondas Bouss-2D

O modelo Bouss-2D é um modelo numérico que permite modelar a propagação e transformação de ondas em zonas costeiras e tem em conta fenómenos hidrodinâmicos como: refacção, rebentação, difracção, atrito de fundo e fenómenos não lineares associados à interacção entre ondas e interacção onda-corrente (Nwogu e Demirbilek, 2001). Este

modelo resolve as equações estendidas de Boussinesq integradas na vertical, válidas para águas pouco-profundas a profundidades intermédias. Numericamente, utiliza um esquema de integração temporal do tipo Crank-Nicolson e o método das diferenças centrais para a discretização espacial.

### 2.3. Modelo SPHyCE

O modelo SPHyCE (*Smoothed Particle Hydrodynamics for Coastal Engineering*) é baseado na formulação Lagrangian das equações bidimensionais da dinâmica dos fluidos e num método de discretização de tipo SPH que permite não recorrer a uma malha. O modelo é derivado do modelo SPHysics (Gómez-Gesteira *et al.*, 2012) e da formulação SPH *standard* proposta por Monaghan (1994) baseada numa formulação de fluido pouco compressível. Graças à formulação Lagrangiana e à metodologia sem malha, a técnica SPH revela-se particularmente interessante para modelar escoamentos com superfícies livres complexas, como a rebentação e o galgamento. O modelo SPHyCE integra uma técnica de geração de ondas com absorção dinâmica de ondas reflectidas e várias opções especificamente desenvolvidas para aplicações de interacções ondas-estruturas costeiras (Didier e Neves, 2012; Didier *et al.*, 2013, Neves *et al.*, 2012).

## 3. CAMPANHA DE CAMPO

As medições de galgamento foram efectuadas no quebra-mar poente do Porto de Albufeira (Fig. 1), no dia 19 de Janeiro de 2013, ao longo de um ciclo de maré, durante períodos de marés mortas (amplitude de maré de 1.5 m).

Ao longo da campanha foram recolhidos dados de maré, agitação marítima (ao largo), alturas da lâmina de água que galga a estrutura, com o objectivo de calcular o galgamento a partir da altura e da velocidade da lâmina de água no coroamento do quebra-mar. Os dados de maré foram obtidos a partir do marégrafo de Huelva (Espanha), localizado a cerca de 100 km a leste da área de estudo. Para caracterizar as condições de agitação ( $H_s$ , altura significativa da onda e  $T_p$ , período de pico), utilizaram-se os dados da bóia de Faro (pertencente ao Instituto Hidrográfico), localizada 30 km a leste da área de estudo (profundidade de 93 m, em relação ao NMM). Foram observados vários eventos de galgamento (Fig. 2) representativos de tempestade moderada ( $H_s$  médio ~ 3-4 m e  $T_p$  médio ~ 8-10 s), com direcção de onda dominante de SW, frequente durante o inverno marítimo.

Cada episódio de galgamento foi identificado e isolado, sendo definido como qualquer passagem de uma lâmina de água sobre o coroamento da estrutura. A altura da lâmina de água acima do coroamento foi obtida através da diferença entre o pico de altura medido pelo sensor de pressão em

cada episódio e uma linha de referência definida como a altura mínima de medição. Assim, apenas foram consideradas as alturas de lâmina de água superiores a duas vezes o erro de medição do sensor, definido como 0.006 m. Foram também considerados unicamente os galgamentos que respeitam critérios compatíveis com a metodologia de cálculo do galgamento (Ferreira *et al.*, 2013).

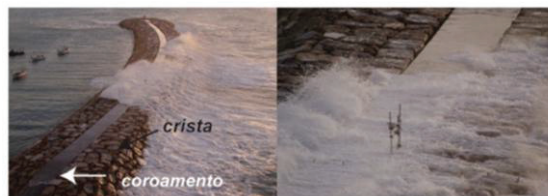


Fig. 2. Galgamento do quebra-mar poente do Porto de Albufeira durante a recolha de dados no dia 19 de Janeiro de 2013.

## 4. RESULTADOS

A análise do galgamento do quebra-mar foi realizada para o intervalo de tempo entre as 8H00 e as 8H30, com um nível de maré de 2.75 m (ZH), no qual se registou o maior número de episódios de galgamento. As características da secção em estudo do quebra-mar, o nível de maré e a posição dos sensores utilizados para cálculo do galgamento estão descritos na Fig 3.

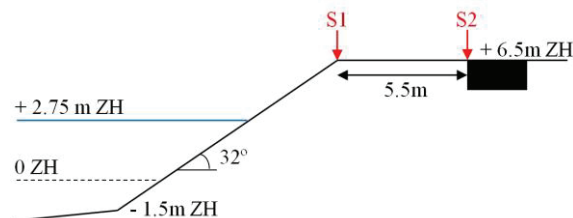


Fig. 3. Esquema do quebra-mar com as principais dimensões e a posição dos sensores utilizados para cálculo do galgamento.

### 4.1. Cálculo do galgamento a partir das medições de campo

O galgamento foi calculado a partir da determinação da velocidade frontal de galgamento (velocidade da frente da lâmina de água) e da velocidade entre picos de galgamento (velocidade da lâmina de água de galgamento considerando as alturas máximas da lâmina de água). A velocidade frontal de galgamento foi obtida usando a diferença de tempo de chegada do galgamento (primeiro registo) nos sensores S1 e S2 no coroamento (Fig. 3). A velocidade entre picos de galgamento foi obtida usando a diferença de tempo de chegada das alturas máximas da lâmina de água nos mesmos sensores. Com base nas velocidades definidas e nas alturas médias e máximas da lâmina de água, determinaram-se descargas médias frontais e de pico ( $Q_f$  e  $Q_p$ ), bem como os volumes máximos de galgamento correspondente ( $V_f$  e  $V_p$ ) (Carrasco *et al.*, 2014).

Os galgamentos ocorreram de forma turbulenta, semelhante ao fluxo de *white water* descrito por Pullen *et al.* (2007). As velocidades máximas frontais para o intervalo de tempo considerado foram de 20 m/s, com valores médios próximos dos 13 m/s. As velocidades máximas de pico foram de 14 m/s, com valores médios próximos dos 11 m/s. Os volumes médios e máximos galgados por onda, obtidos a partir das duas metodologias de cálculo,  $V_f$  e  $V_p$ , foram de 185 e 308 l/m e 308 e 508 l/m por onda, respectivamente. Os valores  $V_f$  e  $V_p$  foram obtidos considerando 5 e 3 eventos de galgamento, respectivamente. A metodologia de aquisição dos dados e de cálculo não permite considerar todas as ondas que galgaram efectivamente o quebra-mar, o que impossibilita calcular o caudal médio galgado.

#### 4.2. Determinação do galgamento a partir da modelação numérica

O modelo SWAN permitiu propagar as características de agitação marítima (JONSWAP) desde a bóia de Faro até às proximidades da costa, a 800 m a Sul do quebra-mar poente, recorrendo a duas malhas de 45 m e 5 m para dois domínios de cálculo, grande e pequeno, respectivamente.

O modelo Bouss-2D foi utilizado para propagar a agitação marítima na zona da batimetria medida no âmbito deste projeto, a Sul do quebra-mar poente, de uma profundidade máxima de -11.5 m (ZH) até às proximidades do quebra-mar. A propagação da agitação no domínio computacional, com uma malha cartesiana regular de elementos de 2 m, foi gerada sem o quebra-mar, no sentido de poder apenas registar as características da onda incidente. A secção de acoplamento com o modelo SPHyCE foi definida a 102 m a Sul do pé do talude do quebra-mar. Nesta secção, a profundidade é  $d=5.96$  m, para o nível de maré considerado, e as características da onda irregular incidente foram de  $H_s=3.0$  m e  $T_p=9.84$  s. A incidência da onda foi praticamente normal ao quebra-mar ( $<10^\circ$ ).

O modelo SPHyCE não permite modelar ondas incidentes irregulares, pois o tempo de cálculo é demasiado elevado para simular um número suficientemente grande de ondas. Por este motivo, utilizou-se o método PCM (*Probability Calculation Method*) de Goda (2000) baseado na probabilidade teórica de Rayleigh da distribuição de alturas de onda, regulares, correspondentes à agitação irregular. Uma probabilidade,  $P_H$ , é assim associada a cada altura de onda. Portanto, as alturas de onda consideradas variaram desde a altura máxima,  $H_{max}=5.4$  m ( $=1.8H_s$ ), até 0.3 m, com um intervalo entre alturas de 0.3 m. O período de todas as ondas regulares foi o período de pico calculado pelos modelos de propagação de onda,  $T=9.84$  s. Para cada onda foi determinado um volume médio galgado por onda,  $V_{m_H}$ , ou um caudal médio galgado,  $Q_{m_H}$ . O volume médio galgado total por onda,  $V_m$ , e o caudal médio galgado total,  $Q_m$ , foram calculados

como sendo a soma da contribuição de cada onda regular simulada, ponderando o volume galgado pela probabilidade de ocorrência desta mesma onda (Ortuño, 2010). O método PCM tem a vantagem de necessitar apenas de simular as ondas regulares que galgam o quebra-mar. As simulações no SPHyCE foram realizadas usando uma resolução de 115688 partículas; o volume de uma partícula,  $v_p$ , foi de  $0.00555$  m<sup>3</sup>/m. Simulou-se um tempo de 123 s com um passo de tempo de aproximadamente  $1.3 \times 10^{-4}$  s. A análise dos resultados foi realizada a partir do instante de tempo 50 s, aquando do estabelecimento periódico do escoamento.

Os resultados do volume médio galgado por onda,  $V_{m_H}$ , obtido para cada onda regular e a sua probabilidade associada estão representados na Fig. 4. A partir destes resultados, o caudal médio galgado,  $Q_m$ , foi de 4.67 l/m/s. A maior contribuição correspondeu à onda regular com  $H=2.4$  m, para a qual o volume médio galgado por onda foi de 239 l/m, com uma probabilidade de 0.55, representando 87% do volume galgado total. Este valor pode, assim, ser considerado como um valor indicativo da ordem de grandeza dos maiores volumes galgados.

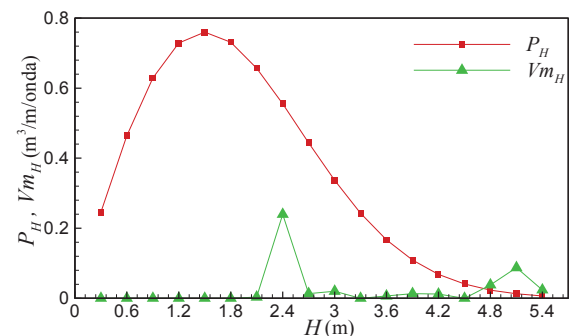


Fig. 4. Probabilidade  $P_H$  e volume galgado por onda  $V_{m_H}$  para as várias alturas de onda regulares simuladas com o SPHyCE.

## 5. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados numéricos, volume médio galgado e caudal médio galgado, foram comparados com os dados das medições de campo e com os obtidos a partir da ferramenta neuronal NN OVERTOPPING2 (Coeveld *et al.*, 2005), respectivamente.

O volume galgado por onda obtido a partir das medições de campo teve um valor médio de 185 e 308 l/m por onda, conforme a metodologia de cálculo, ou seja, um valor médio de 232 l/m por onda. Este valor pode ser visto como representativo da média dos maiores galgamentos medidos. Numericamente, o maior galgamento, que pode ser considerado como um valor indicativo da ordem de grandeza dos maiores galgamentos, ocorre para  $H=2.4$  m, com o valor de 239 l/m, da mesma ordem de grandeza do valor medido de 232 l/m.

O caudal médio galgado foi comparado com os resultados da ferramenta neuronal NN\_OVERTOPPING2, considerando  $H_s=2.4$  m,



$T_p=9.84$  s e  $\gamma_f=0.5$  (valor recomendado para o quebra-mar de Albufeira). O caudal médio galgado foi de 0.53 l/s/m com um intervalo de confiança de 95% [0.14; 1.96] l/s/m. O valor numérico foi de 4.67 l/s/m, um ordem de grandeza superior ao valor da ferramenta neuronal e fora do intervalo de confiança de 95%.

No entanto, observou-se que os blocos do manto superior do quebra-mar estão muito arrumados o que contribui, *a priori*, para uma redução da rugosidade. Com esta observação, considerou-se  $\gamma_f=0.6$ , mantendo os outros parâmetros. O caudal médio galgado foi 1.00 l/s/m com intervalo de confiança de 95% [0.21; 5.02] l/s/m. Com esta hipótese, o caudal médio galgado numérico de 4.67 l/s/m já foi da mesma ordem de grandeza que o caudal médio galgado obtido através da ferramenta neuronal, encontrando-se dentro do intervalo de confiança. Esta última análise mostra a dificuldade de comparação dos resultados medidos, da modelação numérica, e da ferramenta neuronal, uma vez que não se conhecem exactamente todas as condições limites e estruturais do caso em estudo.

A primeira aplicação do modelo numérico integrado e do método PCM de Goda para calcular o caudal médio galgado de um quebra-mar poroso revelou-se relativamente positiva, visto que os resultados apresentam valores similares às primeiras medições de campo realizadas em Portugal e aos resultados obtidos através da ferramenta neuronal.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e a Tecnologia pelo financiamento concedido através dos projectos SPACE PTDC/ECM/114109/2009 e DITOWEC PTDC/ECM-HID/1719/2012, e da bolsa SFRH/BPD/37901/2007.

### REFERÊNCIAS

- Booij, N., Ris, R.C., e Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *Journal of Geographical Research*, 104(C4), 7649-7666.
- Carrasco, A.R., Reis, M.T., Neves, M.G., Ferreira, Ó., Matias, A, e Almeida, S. (2014). Overtopping hazard on a rubble mound breakwater. *Journal of Coastal Research*, SI 70, 247-252.
- Coeveld, E.M., Van Gent, M.R.A., e Pozueta, B. (2005). Neural Network. Manual NN\_OVERTOPPING 2. CLASH WP8, WL Delft Hydraulics, June.
- Didier, E., e Neves, M.G. (2012). A semi-infinite numerical wave flume using Smoothed Particle Hydrodynamics. *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 22(3), 193-199.
- Didier, E., Martins, R., e Neves, M.G. (2013). Numerical and experimental modeling of regular wave interacting with composite breakwater. *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 23(1), 46–54.
- Ferreira, Ó., Reis, M.T., Carrasco, A.R., Neves, M.G., e Didier, E. (2013). Small Overtopping discharges at Albufeira Harbour: field measurements and modelling. In: *Proceedings of 6th SCACR – International Short Course/Conference on Applied Coastal Research*, Lisboa, Portugal.
- Goda, Y. (2000). *Random seas and design of maritime structures*. World Scientific.
- Gómez-Gesteira, M., Rogers, B.D., Crespo, A.J.C., Dalrymple, R.A., Narayanaswamy, M., e Dominguez, J.M. (2012). SPHysics – development of a free-surface fluid solver – Part 1: Theory and formulations. *Computers & Geosciences*, 48, 289-299.
- Monaghan, J.J. (1994). Simulating free surface flows with SPH. *Journal of Computational Physics*, 110, 399-406.
- Neves, D.R.C.B., Didier, E., Reis, M.T., e Neves, M.G. (2012). Overtopping of a porous structure using a Smoothed Particle Hydrodynamics numerical model. In: *Proceedings of Coastlab12 – Fourth International Conference of the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection*, Ghent, Belgium, 531-540.
- Nwogu, O., e Demirbilek, Z. (2001). *Bouss-2D: A Boussinesq wave model for coastal regions and harbors*. Coastal and Hydraulics Laboratory Technical Report ERDC/CHL TR-01-25. Vicksburg, U.S. Army Engineer Research and Development Center.
- Ortuño, M.P. (2010). *Optimización de ensayos físicos para la evaluación del rebase en diques de abrigo*. Tese de Mestrado, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Pullen, T., Allsop, N.W.H., Bruce, T., Kortenhaus, H., e Van der Meer, J.W. (2007). *EurOtop: Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual*. Environment Agency, UK, Expertise Netwerk Waterkeren, NL, and Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, DE.

# Desenvolvimento do Sistema de Previsão e Alerta de Inundações HIDRALERTA: Caso de Estudo da Costa da Caparica.

P. Poseiro<sup>(1)</sup>, M. Reis<sup>(1)</sup>, C. Fortes<sup>(1)</sup>, E. Lopes<sup>(2)</sup>, A. Sabino<sup>(2)</sup> e A. Rodrigues<sup>(2)</sup>

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil. [pposeiro@lnec.pt](mailto:pposeiro@lnec.pt)

(2) CITI, Departamento de Informática, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

**Resumo:** Nesta comunicação faz-se a descrição dos módulos do sistema de previsão e alerta de galgamento/inundações em zonas costeiras e portuárias, HIDRALERTA. Este sistema, que está em desenvolvimento, efetua previsões de agitação marítima até 180 horas, e calcula os correspondentes galgamentos/cotas de inundação recorrendo a modelos numéricos, redes neuronais e/ou fórmulas empíricas. Sempre que sejam excedidos limites pré-estabelecidos para os galgamentos/cotas de inundação de cada área da zona de estudo, definidos de acordo com a sua vulnerabilidade, é acionado o alerta. Ilustra-se a aplicação deste sistema na Costa da Caparica, cujos acontecimentos recentes de galgamento/inundação evidenciam as suas potencialidades.

**Palavras-chave:** alerta, previsão, galgamento, inundação, sistema, zonas costeiras e portuárias.

## 1. INTRODUÇÃO

A severidade do clima de agitação marítima que caracteriza a costa portuguesa leva frequentemente a situações de emergência que põem em causa a segurança de pessoas, bens e infraestruturas, tendo consequências graves para a economia e para o ambiente. Merecem destaque as situações que envolvem o galgamento de estruturas costeiras e portuárias pelas consequências associadas à sua destruição e à inundação das zonas protegidas por estas.

Do exposto, torna-se fundamental dotar as autoridades nacionais de um sistema de previsão e alerta que, com a devida antecedência, alerte para a ocorrência de situações de emergência e que permita a adoção, por essas entidades, de medidas para evitar a perda de vidas e minimizar prejuízos económicos e ambientais.

Neste contexto, tem vindo a ser desenvolvido, um sistema de previsão, de alerta e de avaliação do risco de galgamento/inundações em zonas costeiras e portuárias, denominado HIDRALERTA (Fortes *et al.*, 2013; Poseiro *et al.*, 2014; Sabino *et al.*, 2014). A ideia base do sistema é a utilização de previsões/medições de agitação marítima para a determinação dos seus efeitos em termos de valores de galgamento e/ou de cotas de inundação em zonas específicas, recorrendo a modelos numéricos, redes neuronais (para as zonas portuárias) e fórmulas empíricas (para as zonas costeiras). A comparação destes valores com valores máximos pré-estabelecidos permite: i) a avaliação, em tempo real, de situações de emergência e a emissão de alertas às entidades competentes sempre que se preveja estar em causa a segurança de pessoas, bens ou atividades desenvolvidas; ii) a construção de mapas de risco, considerando séries temporais longas de previsões da agitação marítima ou cenários pré-definidos associados às mudanças climáticas e/ou eventos extremos.

O sistema é constituído por 4 módulos:

I – Características da Agitação Marítima;

II – Galgamento/Inundação;

III – Avaliação do Risco;

IV - Sistema de Alerta.

Nesta comunicação descreve-se o trabalho que tem vindo a ser desenvolvido na implementação do sistema, na sua componente de previsão e alerta na zona da Costa da Caparica.

A seguir a esta introdução descreve-se, na secção 2, a metodologia adotada pelo sistema na vertente de sistema de alerta, bem como o seu processo de implementação e o ponto de situação em que se encontra. Na secção 3 são apresentados os resultados obtidos através do sistema para o caso de estudo e na secção 4 apresentam-se algumas considerações finais.

## 2. METODOLOGIA

O sistema de previsão e alerta implementado para a zona da Costa da Caparica é composto por vários módulos, de acordo com o esquema da Figura 1. O módulo I (Características da Agitação Marítima) baseia-se na acoplagem de um conjunto de modelos numéricos de previsão da agitação marítima e da sua propagação até à zona de estudo. O módulo II (Galgamento/Inundação) calcula os valores do espraiamento (*runup*) e conseqüente galgamento e/ou inundação, recorrendo a fórmulas empíricas baseadas em medições de campo e em ensaios em modelos físicos reduzidos. A cota de inundação é obtida pela soma do espraiamento com o nível de maré. O módulo III (Avaliação do Risco) realiza a avaliação de risco associada ao galgamento/inundação e produz informação adicional que serve de base ao sistema de alerta (módulo IV). O módulo IV avalia as situações

de emergência para uma determinada área de interesse e envia automaticamente uma mensagem de alerta para as autoridades responsáveis. Nas próximas subsecções descrevem-se mais detalhadamente os módulos I, II e IV. O módulo III não é detalhado nesta comunicação uma vez que não é o objetivo direto da mesma. Mais pormenores sobre este módulo podem consultar-se em Fortes *et. al* (2013).

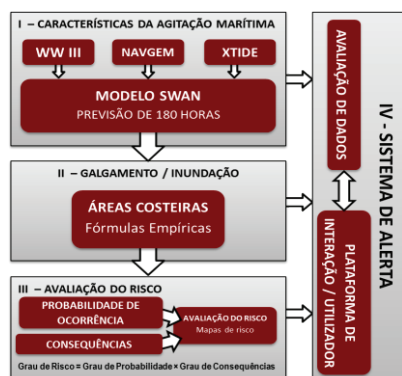


Fig. 1. Esquema do Sistema HIDRALERTA para as zonas costeiras

A metodologia aqui apresentada já foi implementada no porto e baía da Praia da Vitória, Açores, tal como é descrito em Poseiro *et al.* (2014). Existem, no entanto, algumas diferenças a considerar no sistema aqui descrito, na medida em que este adota uma metodologia diferente para o cálculo do espraiamento/galgamento/inundação, uma vez que se trata de uma área costeira e não de uma área portuária, como no caso da Praia da Vitória. Desta forma, para o caso da Costa da Caparica é utilizado um conjunto de fórmulas empíricas para cálculo do espraiamento/galgamento, em vez de uma ferramenta neuronal, como no caso da Praia da Vitória (Poseiro *et al.*, 2014).

### 2.1 Características da agitação marítima

O sistema faz diariamente o *download* das previsões (180 horas seguintes) das características da agitação marítima ao largo - WaveWatch III (Tolman, 1999), através da FNMOOC (*The Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center*), que correspondem à altura significativa, período de onda e direção de onda, dos ventos regionais disponibilizados pela FNMOOC através do modelo NAVGEM (Whitcomb, 2012) nas suas componentes horizontal ( $U$ ) e vertical ( $V$ ), e do nível de maré astronómica, obtido através do *software* XTide (Flater, 1998). Os dados estão disponíveis para cada 3 horas.

Na transferência das condições ao largo para junto à costa é utilizado o modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999). Desta forma, é possível saber com maior resolução as características da agitação marítima junto à costa.

### 2.2 Galgamento/Inundação

Neste módulo, para o caso em estudo (Costa da Caparica - área costeira) o sistema calcula o *runup*

correspondente a uma dada condição de agitação marítima (obtida com o modelo SWAN) nas diferentes secções consideradas. Estas secções correspondem a zonas de praia na Costa da Caparica, sem e com estruturas aderentes de proteção.

O *runup* é estimado através da aplicação das fórmulas empíricas propostas por Hunt (1959), obtida com base em ensaios em modelo físico, e por Holman (1986), Stockdon *et al.* (2006), Nielsen e Hanslow (1991), Ruggiero *et al.* (2001), Guza e Thornton (1982) e Teixeira (2009), obtidas com base em dados de campo (praias naturais). Na zona de praia em que existe uma estrutura aderente de defesa costeira, é estimado o *runup* e o galgamento correspondente com base na aplicação das fórmulas empíricas de Mase *et al.* (2013), obtidas com base em ensaios em modelo físico.

A cota de inundação é obtida pela soma do *runup* com o nível de maré.

### 2.3 Sistema de alerta

O sistema de alerta é constituído por dois componentes: o componente de avaliação de dados e o componente de interação com o utilizador.

No componente de avaliação de dados, o sistema integra a informação relevante para a identificação de um alerta. Além disso, integra também os limiares de galgamento/inundação admissíveis definidos em cada secção em que se divide a zona de estudo. Esses limites são estabelecidos com a ajuda das autoridades locais e de acordo com os eventos perigosos verificados no passado.

O componente de interação com o utilizador é materializado numa aplicação *web*, na qual todo o sistema de alerta é parametrizado. A aplicação está desenhada para ser utilizada em *browsers* tradicionais e móveis, adequando a informação de acordo com as características do dispositivo cliente (Figura 2).

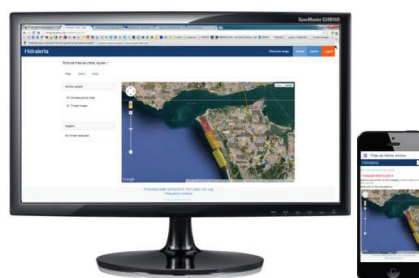


Fig. 2. Sistema HIDRALERTA na web – desktop e mobile

No sistema o nível de alerta associado à área de interesse é função dos limiares de galgamento/inundação alcançados em cada secção das estruturas analisadas. Assim, o sinal de alerta é acionado sempre que estes limiares sejam excedidos. Torna-se, portanto, particularmente relevante conseguir a melhor caracterização possível de cada zona em estudo, tendo em conta as suas características e as atividades que nela acontecem,



bem como uma análise profunda dos registos históricos de galgamentos/inundação.

O sistema permite ainda a análise e visualização de dados históricos, através de tabelas, gráficos e mapas. Os mapas permitem a visualização espacial dos riscos e consequências associados à área de interesse.

A parte *web* está a ser concebida com recurso a ferramentas de domínio público: a plataforma de desenvolvimento *web Django (Python)*, para o desenvolvimento do componente de interação; e o sistema de gestão de base de dados *PostgreSQL* (com a extensão espacial *PostGIS*).

### 3. APLICAÇÃO DO SISTEMA

#### 3.1 Caracterização do local

A praia de São João da Caparica localiza-se no extremo norte da Costa da Caparica, município de Almada (Figura 3). Representa uma área balnear de grande importância para as cidades de Lisboa e Almada, constituindo um ponto de lazer para moradores e turistas durante todo o ano. A praia apresenta um comprimento de 1380 m e está confinada entre dois esporões: o esporão Norte, que tem um comprimento de 350 m, e o esporão localizado a sul, com um comprimento de 150 m. No seguimento do que se tem verificado nos últimos anos, em 2014, a Costa da Caparica foi alvo de forte agitação marítima que causou grandes danos nas estruturas e nas praias, para além de ter posto pessoas em risco. De seguida ilustra-se a aplicação do sistema de alerta durante o dia 2014-02-02, altura em que ocorreu uma violenta tempestade que causou inundações significativas na zona.

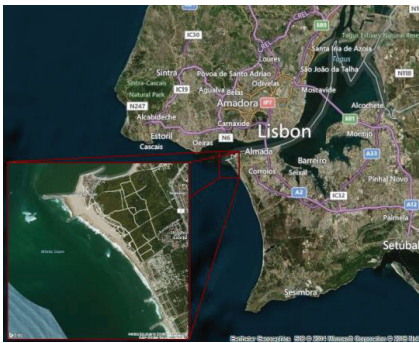


Fig. 3. Localização do caso de estudo. Praia de S. João da Caparica

#### 3.2 Resultados obtidos pelo sistema

Na Figura 4 está representado um exemplo dos *Layouts* obtidos pelo módulo I (Caraterização da Agitação Marítima), nomeadamente a previsão da agitação marítima a nível regional efetuada pelo WaveWatch III, e a nível local, obtido com o modelo SWAN, para o dia 2014-02-02 às 0:00h.

Na aplicação do módulo II do sistema, para o cálculo do *runup* em duas zonas seleccionadas da praia (sem e com estrutura de proteção aderente) admitiram-se dois perfis de praia (Figura 5) que

resultam de um levantamento LiDAR realizado em 2011 para Portugal Continental (Silva *et al.*, 2011).

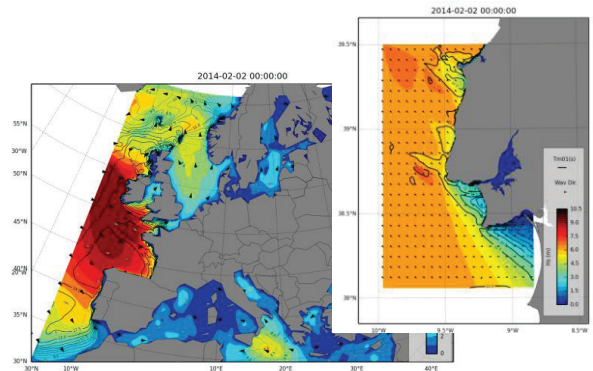


Fig. 4. Layouts obtidos pelo módulo I do sistema HIDRALERTA ( $H_s$ ,  $T_{m01}$ ,  $\Theta_{pr}$ ,  $UV$ ) para as 0h do dia 02/02/2014

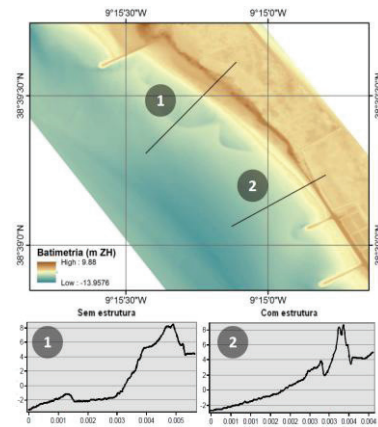


Fig. 5. Perfis na praia de S. João da Caparica nas zonas com e sem estrutura aderente (em relação ao ZH)

No caso do perfil de praia sem estrutura, usaram-se todas as fórmulas empíricas para cálculo do *runup* indicadas na secção 2.2 para cada condição de agitação marítima incidente. Verificou-se que, os resultados obtidos pelas diferentes fórmulas não apresentavam diferenças significativas entre si, com exceção da fórmula desenvolvida por Stockdon *et al.* (2006), pelo que os respetivos resultados não foram considerados para os cálculos seguintes. Assim, com os valores de *runup* das fórmulas restantes, efetuou-se uma média. A cota de inundação é dada pela soma das contribuições da maré astronómica, M.A. (referente ao ZH), com a sobrelevação meteorológica, S.M., e com o valor médio do *runup*.

Para o caso do perfil de praia com estrutura aderente consideraram-se os resultados da aplicação da fórmula empírica de Mase *et al.* (2013), que se considera ser adequado para este tipo de estruturas, mas que ainda terá de ser sujeito a um processo de validação.

Finalmente, a aplicação do módulo IV aos resultados de galgamento/cota de inundação obtidos, permite a construção de *Layouts* como o da Figura 6, onde estão representados os níveis de alerta obtidos nessa zona para o dia e hora referidos. Para definição desses alertas, considerou-se, nesta fase, que os limiares correspondem aos níveis máximos de cota de



coroamento das faces da praia e da estrutura de proteção (Figura 5), que são aproximadamente de 8 m (ZH).

Como se pode observar na Figura 6, para o instante temporal considerado, obtiveram-se os níveis de alerta 3 e 4, no lado norte e sul da praia, respetivamente.

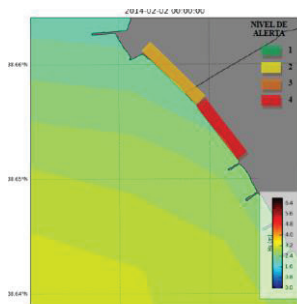


Fig. 6. Layout obtido pelo módulo IV do sistema HIDRALERTA (Hs, Níveis de Alerta) para as 0h do dia 02/02/2014

É de salientar a validação do sistema é um processo em curso. À presente data apenas foi efetuada a validação do sistema, para o módulo I (Neves, 2013), com recurso a dados da boia ondógrafo da Administração do Porto de Lisboa.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta comunicação apresenta-se o estado atual de desenvolvimento do sistema HIDRALERTA, sistema que permite a previsão de situações de emergência e alerta das autoridades competentes sempre que se registam galgamentos e inundações em zonas costeiras e portuárias. Foi apresentada sumariamente a aplicação dos módulos I, II e IV do sistema na zona da Costa da Caparica, de modo a ilustrar algumas das potencialidades do mesmo. Atualmente, o sistema apresenta a capacidade de ter já acoplado todos os elementos necessários para a emissão de alertas em tempo real, mas ainda há alguns aspetos a serem melhorados, especialmente no módulo IV. Os dois primeiros módulos estão já em funcionamento em permanência.

O trabalho futuro passa necessariamente pela validação do sistema, nomeadamente dos seus módulos II e IV com a colaboração das autoridades locais e com a utilização de dados históricos, no sentido de garantir a fiabilidade do sistema.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FCT o financiamento concedido através do projeto HIDRALERTA – Flood forecast and alert system in coastal and port areas, ref. PTDC/AAC-AMB/120702/2010. Um agradecimento especial à Eng.<sup>a</sup> Teresa Sá Pereira da APL pela colaboração e disponibilidade.

#### REFERÊNCIAS

Booij, N., Ris, R.C. e Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part

I, Model description and validation. *J.G.R.*, C4(104): 7649-7666.

Flater, D. (1998). *XTide Manual: Harmonic tide clock and tide predictor*. E.U.A.

Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T., Poseiro, P., Capitão, R., Sabino, A., Rodrigues, M.C., Raposeiro, P., Ferreira, J.C., Silva, C., Simões, A. e Azevedo, E.B. (2013). O projeto HIDRALERTA - sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias. In 8.<sup>as</sup> JPECP, LNEC.

Guza, R.T. e Thornton, E.B. (1982). Swash oscillations on a natural beach. *J. Geoph. Res.*, 87 (C1), 483-491.

Holman, R.A. (1986). Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach. *Coastal Eng.*, 9, 527-544.

Hunt, I.A. (1959). Design of seawalls and breakwaters. *J. of Waterways and Harbours Div.*, 85, 123-152.

Mase, H., Tamada, T., Yasuda, T., Hedges, T.S. e Reis, M.T. (2013). Wave Runup and overtopping at seawalls built on land and in very shallow water. *J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 139, 346-357.

Neves, P. (2013). Avaliação do risco de inundação da zona da Costa da Caparica. MsC Th., FCTUC, 120p.

Nielsen, P. e Hanslow, D.J. (1991). Wave Runup Distributions on Natural Beaches. *J.C.R.*7(4):1139-1152.

Poseiro, P., Sabino, A., Fortes, C.J., Reis, M.T. e Rodrigues, A. (2014). Aplicação do sistema HIDRALERTA de previsão e alerta de inundações: Caso de estudo da Praia da Vitória. *Actas do 12.<sup>o</sup> Congresso da Água*, Lisboa.

Ruggiero, P., Komar, P.D., McDougal, W.G., Marra, J.J. e Beach, R.A. (2001). Wave Runup, Extreme Water Levels and the Erosion of properties backing beaches. *J.C.R.*, 17, 407-419.

Sabino, A.; Rodrigues, A.; Araújo, J.; Poseiro, P.; Reis, M. T.; Fortes, C. J. E. M. (2014). Wave Overtopping Analysis and Early Warning Forecast System, *ICCSA 2014*,

Silva, M., Patrício, P., Mariano, A., Morais, M. Obtenção de dados geográficos de base para as zonas costeiras de Portugal Continental (2011). *VII Conf.Nac.Cart.Geod.* Porto.

Stockdon, H.F., Holman, R.A., Howd, P.A. e Sallenger Jr., A.H. (2006). Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Eng.*, 53, 573-588.

Teixeira, S.B. (2009). *Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve*. ARH Algarve.Faro.

Tolman, H. (1999). *User Manual and System Documentation of WAVEWATCH-III. version 1.18*, NOAA/NWS/NCEP /OMB Technical Note 166, 110p., Washington, E.U.A.

Whitcomb, T. (2012). Navy global forecast system, NAVGEM: Distribution and user support. In *2nd Sci. Work. on ONR DRI: Unified Parameterization for Extended Range Prediction*, Monterey, California.

## Determination of Extreme Sea Levels along the Portuguese Coast

A.B. Fortunato<sup>(1)</sup>, K. Li<sup>(1)</sup>, X. Bertin<sup>(2)</sup> and M. Rodrigues<sup>(1)</sup>

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, afortunato@lnec.pt

(2) Université de La Rochelle

**Abstract:** This work aims at determining extreme water levels associated with different return periods through the development and application of a circulation model for tides and surges. The model covers a large portion of the NE Atlantic, and has a resolution of 250 m in the Portuguese shelf. The model was extensively validated for tides, surges and extreme sea levels. In the Portuguese shelf, RMS errors of tides are of the order of 5 cm, and the model under-estimates extreme water levels by about 10 cm. Simulation of water levels between 1979 and 2010, followed by a statistical analysis of the results, provided the relation between return periods and extreme levels along the Portuguese coast. Results reveal the growth of extreme water levels from south to north.

**Key words:** circulation model, statistical analysis, tides, storm surges

### 1. INTRODUCTION

There is an increasing concern over the flooding of coastal areas by the combined action of tides and storm surges. On the one hand, the hazard is increasing due to climate change (sea level rise and, in some areas, growing storminess); on the other hand, the vulnerability is also increasing due to the continuous migration of the populations and economic activities to the coast.

Determining the hazard from tidal gauge data entails major difficulties. Firstly, few tide gauges have time series long enough to provide reliable statistics. In Portugal, only the Leixões (Araújo *et al.*, 2013), Aveiro (Fortunato *et al.*, 2013), Cascais and Lagos tide gauges have multi-decadal time series. Secondly, some of these stations are not representative of coastal conditions, since they are located inside estuaries. Thirdly, most annual time series have gaps due to instrument malfunctioning, which severely limit the applicability of statistical methods to determine return periods associated to extreme water levels.

As an alternative to measured sea levels, process-based numerical models avoid the three previous difficulties. Provided adequate computational resources and proper data for setup, forcing and validation, models can produce long and continuous time series of sea surface height, which can be used to determine the return periods associated to extreme sea levels (Batstone *et al.*, 2013).

The present paper presents an application of the shallow water model SELFE (Zhang and Baptista, 2008) to simulate tides and surges in the Portuguese shelf from 1979 to 2010. Once the model is properly validated, maps of extreme levels associated to selected return periods are determined.

### 2. METHODS

#### 2.1 Numerical model

Water levels are simulated with the 2D version of hydrodynamic model SELFE (Zhang *et al.*, 2011). SELFE is an unstructured grid community model targeting river to ocean applications, and includes modules for waves (Roland *et al.*, 2013), morphodynamics (Pinto *et al.*, 2012), ecosystem dynamics (Rodrigues *et al.*, 2009), fecal contamination (Rodrigues *et al.*, 2011), oil spills (Azevedo *et al.*, 2014), among others.

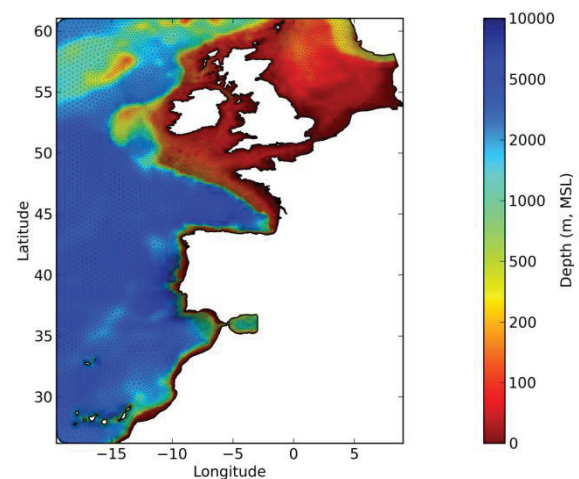


Fig. 1. Finite element grid, with about 150 000 nodes. In the Portuguese shelf, the resolution is about 250 m.

The present application builds on previous efforts by Bertin *et al.* (2012). The domain extends between latitudes 26.2°N and 61.0°N, and from the European and African coasts to longitude 19.5°E (Fig. 1). The grid resolution is particularly fine in the Portuguese shelf, where it reaches 250 m. The time step is set to 5 minutes. The model is forced at the boundary by 18 tidal constituents from FES2004 (Lyard *et al.*, 2006) and the inverse barometer effect. Tidal potential and wind and atmospheric pressure from the CSFR are considered inside the domain.

## 2.2 Statistical analysis

Time series of elevations produced by the model are analysed following the approach of Fortunato *et al.* (2013). This approach starts by splitting the simulated signal into a tidal component (obtained by harmonic analysis) and a residual (obtained by differencing). Synthetic yearly time series are then obtained by varying:

- Tides, from 19 consecutive years;
- All the residuals computed from the model (31 years in this case);
- The phase lag between the tides and the residuals, between -15 and +15 days, with an interval of 1 hour.

The number of annual time series thus obtained is very large ( $19 \times 31 \times 721 = 424669$  in this case), and all these synthetic time series have the same probability of occurrence. Indeed, using 19 consecutive years for tides takes into consideration the nodal tidal cycle, which has 18.6 years. These time series also contain maxima larger than the ones observed, since the largest surges are allowed to occur at high spring tide, even if they effectively occurred at other phases of the tide.

Once the synthetic time series are generated, the function relating extreme sea levels with return periods is obtained with the Annual Maxima Method.

The application of the present statistical method to data from the Aveiro tide gauge and a comparison with the results obtained by Andrade *et al.* (2006) with traditional approaches showed a good agreement (Fortunato *et al.*, 2012). Yet, the present approach is more accurate than the straightforward application of the Annual Maxima Method because it uses more points of the time series (Fortunato *et al.*, 2013).

The approach used herein implicitly assumes that the residuals and the tidal signal are independent, a hypothesis which is not strictly correct. Indeed, while tides and storm surges have different origins, they can interact through non-linear processes. For instance, Horsburgh and Wilson (2007) show that the different celerity of a storm surge as it propagates over a high or a low tide modulates the residuals along the tidal cycle. Tides and surges can also interact through other non-linear processes, such as the increase in bottom friction at low tide (Rego and Li, 2010) and advection (Idier *et al.*, 2013). However, because the Portuguese continental shelf is very narrow and subjected to weak currents, non-linear processes in this region are assumed to be small, and the hypothesis is expected to be a good approximation.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 Model validation

The model was first validated for tides. Root mean square errors for the 5 major constituents (M2, S2, N2, O1, K1) at stations in the southern part of the domain are typically smaller than 5 cm (Fig. 2). These errors are smaller or equivalent than those presented in previous similar applications (Fortunato *et al.*, 2002, 2011).

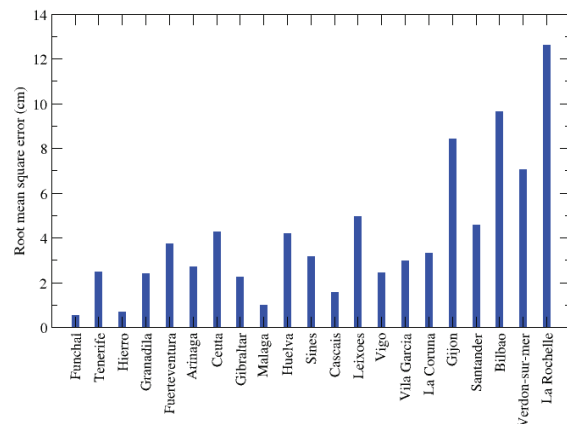


Fig. 2. Validation of the tidal model: root mean square errors for time series computed with five tidal constituents (M2, S2, N2, O1, K1).

The full tide and surge model was validated next for the 2009-2010 winter. This period was selected because it was a particularly violent winter. In February, the Xynthia storm generated surges over 1.5 m in the south-western French coast, killing 47 people and causing 1.5 billion euros damage (Bertin *et al.*, 2012). In the Tagus estuary, 500 thousand euros of damage were reported for the same event (Pereira, 2013). To evaluate the performance of the model in terms of storm surges, a Demerliac filter was applied to both the data and the model results to remove the tidal signal. Results show that model correctly captures both the amplitude and the phase of the surge (Fig. 3).

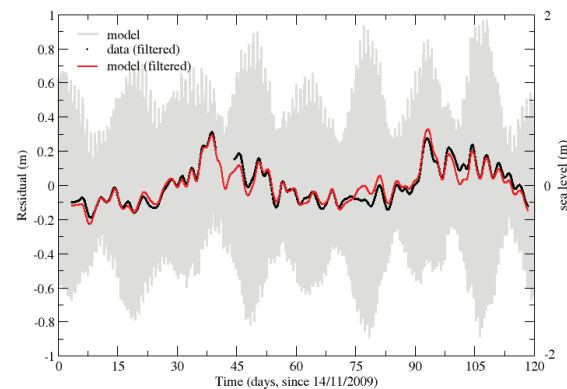


Fig. 3. Validation of the tide and surge model at Cascais during the 2009-2010 winter: both observations and model results were filtered to remove the tidal signal.

Further model-data comparisons showed that the accuracy is significantly lower in the northern part of the domain, probably due to the low spatial resolution of the grid, the larger amplitudes of tides and surges, and the higher importance of non-linear processes in that area. Hence, the analysis of model results concentrates on the Iberian shelf.

Finally, the return periods associated to extreme levels at three locations were computed with the model results and compared to a similar evaluation using data (Cascais and Aveiro) and another model (Bilbao) (Fig. 4). The discrepancy between the different curves (about 5 cm) is of the order of the uncertainty associated with the statistical method.

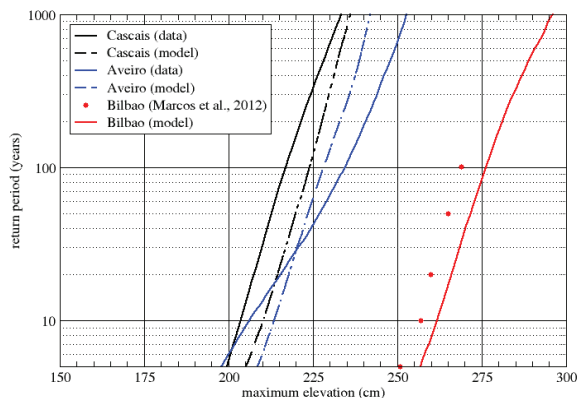


Fig. 4. Comparison of the return periods of extreme sea levels computed with the present model and others at Cascais (from Guerreiro *et al.*, 2013), Aveiro (from Fortnato *et al.*, 2013) and Bilbao (from Marcos *et al.*, 2012).

Although the model can still be improved, it is considered reliable enough to investigate extreme sea levels along the Portuguese coast.

### 3.2 Extreme sea levels

Extreme sea levels at selected locations along the Portuguese shelf were determined based on 31 years of preliminary model hindcasts. The European Directive on floods requires that inundation maps are produced for high, medium and low probability events, which, in Portugal, has been defined as 20, 100 and 1000 year return periods. Extreme sea levels were thus computed for those return periods, even though the uncertainty for the 1000 year return period is very high.

Results show that extreme sea levels increase from South to North in this region (Fig. 5): the difference between the extreme sea level at the southernmost station (South of Tangier, Morocco) and the northernmost (East of Gijon, Spain) is about 0.6 m. This growth from South to North is consistent with a previous analysis based on tide gauge data (Andrade *et al.*, 2006). Also, extreme water levels associated with return periods of 1000 years are about 0.3 m higher than those obtained for return periods of 20 years.

## 4. CONCLUSIONS

The present results show that it is possible to determine extreme sea levels from model hindcasts with acceptable errors. The main limitation of the model is that waves are not modelled, thus wave setup and infra-gravity waves are neglected. Results provide new insight on the spatial distribution of sea level extremes and on their frequency.

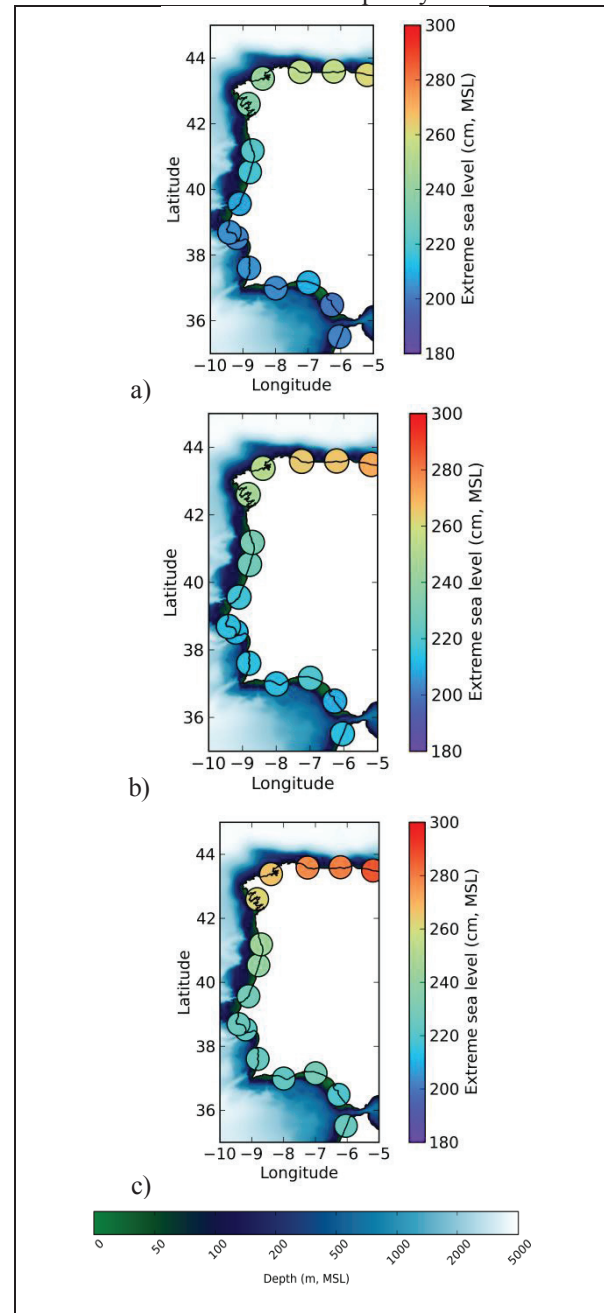


Fig. 5. Extreme water levels along the Portuguese coast for different return periods: a) 20 years; b) 100 years; c) 1000 years.

The model developed herein can have important applications for coastal management. The European Directive on floods requires all member states to develop risk maps for threatened riverine and estuarine areas. The present work can provide the boundary conditions for estuarine models to generate inundation hazard maps.



## Acknowledgements

This work was partially funded by the Fundação para a Ciência e a Tecnologia (projects MOLINES – PTDC/AAG-MAA/2811/2012 and ADAPTARIA – PTDC/AAC-CLI/100953/2008, and grants SFRH/BSAB/1308/2012 (ABF) and SFRH/BPD/87512/2012 (MR)) and by the Région de Poitou-Charente.

## REFERENCES

- Andrade, C., Pires, H.O., Silva, P., Taborda, R., and Freitas, M.C., (2006). Zonas costeiras, F.D. Santos e P. Miranda (eds.), *Alterações climáticas em Portugal. Cenários, impactes e medidas de adaptação – Projecto SIAMII*, Gradiva, Lisboa.
- Araújo, I.B., M.S. Bos, L.C. Bastos and M.M. Cardoso, (2013). Analysing the 100 year sea level record of Leixoes, Portugal, *J. of Hydrology*, 481: 76-84.
- Azevedo, A., A. Oliveira, A.B. Fortunato, J. Zhang, and A.M. Baptista (2014). A cross-scale numerical modeling system for management support of oil spill accidents, *Mar. Poll. Bull.* 80, 1-2:132-147.
- Batstone, C., Lawless, M., Tawn, J., Horsburgh, K., Blackman, D., McMillan, A., Worth, D., Laeger, S. Hunt, T (2013). A UK best-practice approach for extreme sea-level analysis along complex topographic coastlines, *Ocean Eng.*, 71:28-39.
- Bertin, X, N. Bruneau, J.F. Breilh, A.B. Fortunato, and M. Karpytchev (2012). Importance of wave age and resonance in storm surges: the case Xynthia, Bay of Biscay. *Ocean Modelling*, 42, 16-30.
- Fortunato, A.B., L. Pinto, A. Oliveira and J.S. Ferreira (2002). Tidally generated shelf waves off the western Iberian coast, *Cont.Shelf Res.*, 22/14: 1935-1950
- Fortunato, A.B., N. Bruneau, A. Azevedo, M.A.V.C. Araújo and A. Oliveira (2011). Automatic improvement of unstructured grids for coastal simulations, *J. of Coastal Res.*, Sp. Issue 64: 1028-1032.
- Fortunato, A.B., M. Rodrigues, J. M. Dias, A. Oliveira (2012). Modelação da inundação costeira na Ria de Aveiro, 11<sup>o</sup> Cong. da Água, APRH, 15 pp.
- Fortunato, A.B., M. Rodrigues, J. M. Dias, C. Lopes, and A. Oliveira (2013). Generating inundation maps for a coastal lagoon: A case study in the Ria de Aveiro (Portugal), *Ocean En.*, 64: 60-71.
- Guerreiro M., Fortunato A.B., Freire P., Rilo A., Taborda R., Freitas M.C., Andrade C., Silva T., and Rodrigues M. (2013). Impacte da subida do nível médio do mar na inundação marginal no estuário do Tejo. *Atas do VII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa* (Maputo, Moçambique), 19pp.
- Horsburgh, K. J., and C. Wilson (2007). Tide-surge interaction and its role in the distribution of surge residuals in the North Sea, *Journal of Geophysical Research*, 112, C08003.
- Idier, D., Dumas, F., and Muller, H. (2012). Tide-surge interaction in the English Channel, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 3709–3718.
- Lyard, F., F. Lefevre, T. Letellier, O. Francis (2006). Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004, *Ocean Dynamics*, 56: 394–415
- Marcos, M., G. Chust, G. Jordà, A. Caballero (2012). Effect of sea-level extremes on the western Basque coast during the 21st century, *Climate Research*, 51:237-248.
- Pereira, M.T.S. (2013). Personal communication.
- Pinto, L., A.B. Fortunato, Y. Zhang, A. Oliveira, and F.E.P. Sancho (2012). Development and validation of a three-dimensional morpho-dynamic modelling system for non-cohesive sediments, *Ocean Modelling*, 57-58: 1-14.
- Rego, J. L. and Li, C., 2010. Nonlinear terms in storm surge predictions: Effect of tide and shelf geometry with case study from Hurricane Rita, *J. Geophys. Res.*, 115, C06020, doi:10.1029/2009JC005285.
- Rodrigues, M., A. Oliveira, H. Queiroga, A.B. Fortunato and Y.J. Zhang (2009). Three-dimensional modeling of the lower trophic levels in the Ria de Aveiro (Portugal), *Ecological Modelling*, 220/9-10: 1274-1290
- Rodrigues, M., A. Oliveira, M. Guerreiro, A.B. Fortunato, J. Menaia, L.M. David, and A. Cravo (2011). Modeling fecal contamination in the Aljezur coastal stream (Portugal), *Ocean Dynamics*, 61/6: 841-856
- Roland, A., Zhang, Y.J., Wang, H.V., Meng, Y., Teng, Y.-C., Maderich, V., Brovchenko, I., Dutour-Sikiric, M. and Zanke, U. (2012). A fully coupled 3D wave-current interaction model on unstructured grids, *Journal of Geophysical Research*, 117, C00J33, DOI: 10.1029/2012JC007952.
- Zhang, Y.-L., Baptista, A.M. (2008). SELFE: A semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation. *Ocean Modelling*, 21/3-4: 71-96.
- Zhang, Y., Witter, R., Priest, R. (2011). Tsunami-tide interaction in 1964 Prince William Sound tsunami. *Ocean Modelling*, 40/3-4, 246-259.

# Influence of MeteOcean processes on MSYM sea level predictions in the Singapore and Malacca Straits

S. Bartolomeu<sup>(1)</sup>, M. Malhadas<sup>(2)</sup>, P. Leitão<sup>(2)</sup> and J. Dias<sup>(3)</sup>

(1) Departamento de Física, Universidade de Aveiro. sofiabartolomeu@ua.pt

(2) HIDROMOD Lda., Modelação em Engenharia, Lda.

(3) Departamento de Física, CESAM, Universidade de Aveiro.

**Abstract:** The Malacca and Singapore Straits are known for the complex behaviour of their tides. These regions are under the influence of the Pacific (diurnal) and Indian (semidiurnal) tides, which are modified by local geomorphology and by the monsoon characteristics of the region. Furthermore, it is an economically important region, justifying the development of a local hydrodynamic numerical application (MSYM), which calculates, among other parameters, the sea level. A previous model validation revealed good results, in general. However, some discrepancies between observed and predicted sea levels were identified, mainly during neap tides and for specific tide gauges. This work explores the origin of these discrepancies by comparing predictions with observed data and by investigating the MeteOcean processes occurring in the straits. While these differences in the Singapore Strait are associated with monsoon occurrences, in the Malacca Strait they are related with minor accuracy in astronomical tide reproduction.

**Key words:** Singapore Strait, Malacca Strait, Astronomic tide, Storm surge, Monsoon.

## 1. INTRODUCTION

The Malacca and Singapore Straits are characterized by a complex tidal behavior, entangled with the co-oscillating nature of the tide from the Pacific and Indian Ocean, mainly in response to the geographical configuration of the area. The combination of these elements with the existence of many islands, small passages and sharply varying bottom topography, could give an overview of the complexity of the tides in the study area and the coastal waters' response to various forcing mechanisms that provide the energy and momentum to drive the coastal processes. In the past decade, numerical ocean models have been able to predict the coastal and oceanic processes with the necessary resolution to reproduce the small-scale details not captured by the observations, which has been useful for such areas as coastal engineering, oceanography, marine environment. The Malacca Strait is one of the most important shipping routes in the world and is a canal shipping route between the Indian and Pacific Oceans that connects three of the most populated countries in the world: India, Indonesia and China (Rizal *et al.*, 2010). There has also been an expansion of the oil exploration activity in this region, which is likely to increase in the next few years, as new oil deposits are discovered and the oil spills might become more frequent (Camerlengo and Demmler, 1997). Therefore, the different aspects of removal and containment of oil spills under adverse weather conditions will necessarily have to undergo an accelerated expansion in the near future.

The MSYM model was created in order to be used as an operational oil spill forecast system for the

Strait of Malacca. Thus, appropriate hydrodynamic and oil dispersion models are expected to be used to provide predictions of the movement, dispersion and trajectory, shore reach and impact of pollutants on the coastal area and marine structures. The solution proposed will make use of AQUASAFE server to manage the information and MOHID to compute the hydrodynamic and oil spills transport and dispersion. MOHID is an integrated water modelling software which has been used to simulate physical, chemical and ecological processes at different scales in several coastal and estuarine areas worldwide showing its ability to simulate complex features of the flows (e.g. Martins *et al.* 2001; Vaz *et al.* 2005).

The first validation work conducted for the model implemented for the Strait of Malacca reveals, in general, similar results between observed and predicted data. However, for some locations, the discrepancies between sea level observations and the model predictions are higher under important dynamic ocean and meteorological processes. It is important to understand the reasons for these inaccuracies, mainly associated with the neap tide, so that model predictions can be improved. Thus, this work aims to deeply validate the MSYM model's sea level and understand the correlation between the highest discrepancies between the predicted and observed sea level and the main dynamic processes acting over the region.

## 2. STUDY AREA

The Malacca Strait is a channel with complex topography, between the Malaysia Peninsula and Sumatra, which links the Indian Ocean and

Andaman Sea (North) to the South China Sea (South). It is about 980 km long and varies in width from 52 km to 445 km and water depth changes slightly from 30 m to 200 m. The connection in the South is a channel called Singapore Strait that extends for 105 km and where the water depth ranges between 30 and 120 m. It is influenced by the interactions between the Indian (mainly semidiurnal) and Pacific Oceans (mainly diurnal) with a complex tidal pattern. The entire region, bounded by the Gulf of Thailand in the north, Karimata Strait in the south, east coast of Peninsular Malaysia in the west, and break of the Sunda Shelf in the east, typically equatorial, could experience positive or negative sea level anomalies, under the strong influence of the Asian monsoon, which greatly affects their circulations: northeast (NE) monsoons, from November to March, and southeast (SW) monsoons,

from May to September. These act over the South China Sea and tend to induce positive or negative sea level anomalies in the Singapore Strait (Tkalic *et al.*, 2012; Choon *et al.*, 2006). The pile up of water during the winter monsoon is greater than the lowering of the sea level in the summer monsoon (Azmy *et al.*, 1991).

### 3. METHODOLOGY

The Mohid model was used in this work to compute sea level. This hydrodynamic model has been configured to be applied in the Strait of Malacca - the MSYM model. The MSYM adopts a downscaling approach using four levels of grid nesting with different dimensions and horizontal resolution (L1, L2, L3 and L4 in the Fig. 1).

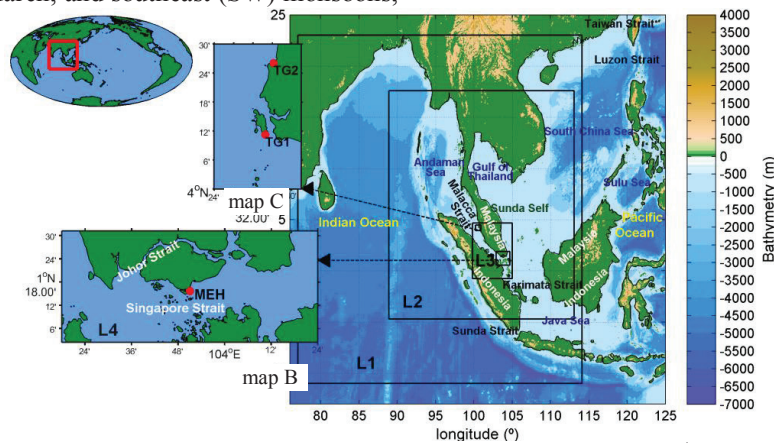


Fig. 1- Location and regional bathymetry of the study area and the nested configuration of the MSYM model (map A): Level 1 to Level 4 (amplified in map B – L4). Map C contains the location of the tide gauges of the HYDEC Company (“TG1” and “TG2”) and map B contains the tide gauges from the Marine Electronic Highway (MEH).

One-way nesting is used, in which the large-scale models influence the local models, but not the opposite. At this stage, all of the levels are 2D-H barotropic, using only 1 sigma layer in the vertical dimension. The first domain, in which a sea level interpolated from the FES2004 global tidal solution (Lyard *et al.*, 2006) was imposed in the open boundary of Level 1, has a horizontal resolution of about 10 km. The second domain is regional and has a horizontal resolution of 5 km in which the open boundary conditions were defined by adding the inverted barometer effect to the solution of Level 1. The surface boundary condition for wind stress and atmospheric pressure is applied by using the GFS NOAA weather prediction solution. The third domain comprises the Malacca Strait, with a horizontal resolution of about 1 km. The fourth domain is local and includes the Singapore Strait, with a 200 m horizontal resolution. The open boundary conditions for levels 3 and 4 are prescribed from the upper levels, and meteorological forcing (wind and atmospheric pressure) are still being applied using the GFS solution.

Two simulations are performed during this study. The predicted sea level was forced with the

astronomic and meteorological tide simulating the Singapore Strait area (L4), in the first run and the Malacca Strait (L3), in the second run. In order to validate the predicted sea level amounts, three tide gauges were considered. The simulations have a different time interval, depending on the data sources. The first time interval (24/11/2012 - 6/04/2013) corresponds to the available observed sea level provided by the Marine Electronic Highway Project (MEH) for Tanjong Pagar, in the Singapore Strait. The second time interval (5 - 19/04/2010) is related with the available observed data of the HYDEC Company for the two tide-gauges in Pangkor (TG1 and TG2). The sample interval varies with the tide gauge: 30 and 10 min, for MEH and HYDEC tide gauges, respectively. The model was spun up from rest over three days.

The analysis was divided into two main parts. First the ability of the MSYM to predict the astronomic tide was analysed, by computing and comparing the resulting amplitude and phase of the main harmonics constituents from model predictions (applying the harmonic analysis package developed by Pawlowicz *et al.*, 2002) with observations.



In the second part, the sea level anomalies were investigated, and the origin of the discrepancies were explored and related with the MeteOcean processes occurring in the straits. Some error measures were calculated: the Root Mean Squared Error difference, the Correlation coefficient, the Relative Error. To compare the amplitude and phase of each harmonic constituent ( $\cdot$ ), the Mean Complex Amplitude Error (1) and their Relative (2) value

were computed, where  $h_{mod}$ ,  $h_{obs}$ ,  $\varphi_{mod}$  and  $\varphi_{obs}$  are amplitudes and phases as simulated in the model and in observations, respectively.

$$HC_i = \left\{ \left[ h_{mod_i} \cos(\varphi_{mod_i}) - h_{obs_i} \cos(\varphi_{obs_i}) \right]^2 + \left[ h_{mod_i} \sin(\varphi_{mod_i}) - h_{obs_i} \sin(\varphi_{obs_i}) \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (1)$$

$$Relative\ HC_i = HC_i / h_{obs_i} \times 100 \quad (2)$$

#### 4. RESULTS AND DISCUSSION

To evaluate the MSYM sea level predictions, data sets have been subjected to harmonic analysis separating 35 and 17 harmonics constituents, for the first and second time interval, respectively. The amplitude and phase of the main constituents were plotted the Fig. 2, for observations (blue) and predictions (red), as well as the Relative Mean

Complex Amplitude Error (Relative HC, bottom), for: MEH (left), TG1 (center) and TG2 (right). The MEH results reveal slight differences between the observed and predicted amplitude and phase of the main harmonic constituents, whereas the results for TG1 and TG2 show significant discrepancies. The highest Relative HC of MEH results is 14.9% for  $S_2$  while the TG1 and TG2 results shows Relative HC's between 13.2% ( $M_2$  in TG2) and 218% ( $O_1$  in TG2), considering the main harmonics  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$  and  $O_1$ . The form factor was also calculated. The results for the observations (predictions) were: 0.589 (0.567) in MEH; 0.282 (0.208) in TG1 and 0.236 (0.248) in TG2. Thus, the errors in the factor form are: 3.81% for MEH; 26.46% for TG1 and 5.38% for TG2. It should also be taken into account that MEH tide gauge is located in the Singapore Strait; TG1 is located in an estuary and TG2 on a bay. Thus, each place was associated with different coastal processes, time intervals and sample times. The time series of 15 days for HYDEC tide gauges is not enough to separate the four major constituents. The frequencies with higher amplitude of the sea level anomalies (Fig. 3) can also be related with astronomical tide frequencies that the harmonic analysis cannot separate due to the time interval.

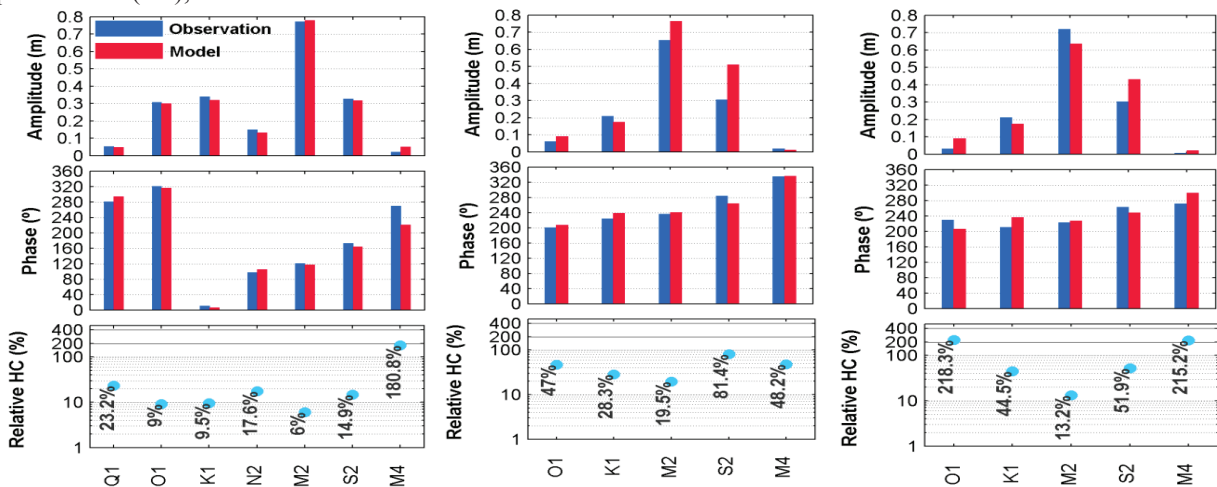


Fig. 2 – Harmonic analysis for the MEH and HYDEC tide gauges: Tanjong Pagar (right), TG1 (center) and TG2 (left). Amplitude (top), phase (center) and Relative mean complex amplitude error (Relative HC, in the bottom).

As previously described the South China Sea is a very dynamic region, with consequences in the sea level patterns and it is affected by monsoons which dominate the larger-scale sea level dynamics. The typical monsoons for the MEH tide gauge's analysis period are from NE and the higher frequencies of the sea level anomalies indicate storms. According to Tkalic *et al.* (2012), the NE monsoon climatology and extreme wind, when aligned along the longest Taiwan–Singapore axis, produce the strongest positive sea level anomalies in the MEH region. With the goal to evaluate the relationship between sea level anomalies in the MEH tide gauge and the wind speed along the aforementioned axis, the correlation coefficient between the gridded wind data (50 by 50 km from GFS) and the sea level

anomalies was computed (Fig. 4). The highest correlations were found between 10–20°N and 107–113°E, so the occurrence of storm surges can be related with the meteorological conditions in this region. The sea level anomalies for the HYDEC tide-gauges (Fig. 3, center and right) are in the order of 10 – 20 cm. The typical wind speed in the Malacca Strait is not as high as that found over the South China Sea and no significant wind events happened during this second time interval.

The discrepancies in HYDEC tide gauges between the observations and prediction can be essentially associated with differences in the amplitude and phase in the major harmonics, which are strengthened during the neap tide.



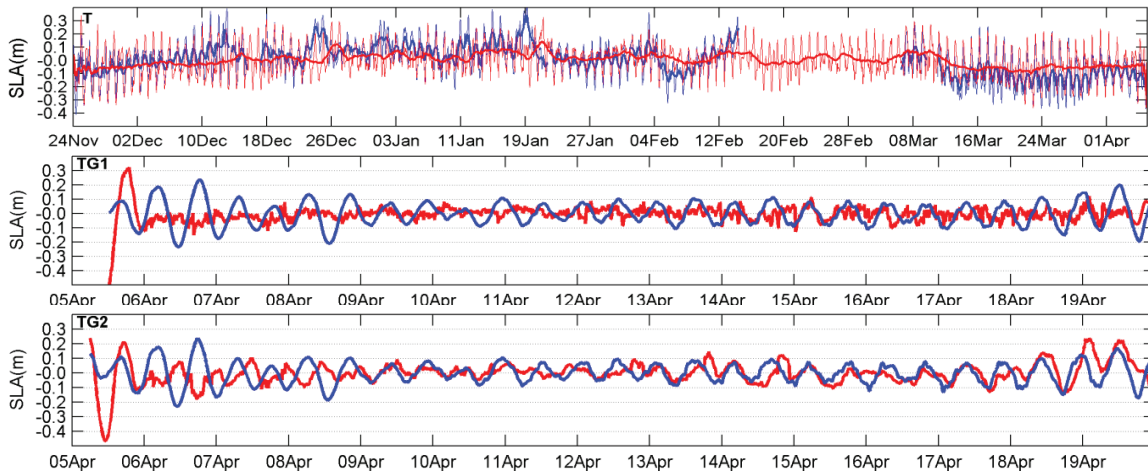


Fig. 3 – Predictions (red) and observations (blue) of sea level anomalies for MEH (top), TG1 (center) and TG2 (bottom) tide gauges

Finally, the RMSE was computed for the sea level at each tide gauge. The values vary between 12.64 cm, 18.74 cm and 22.45 cm, for MEH, TG2 and TG1, respectively, for an amplitude in spring tide of around 3 m.

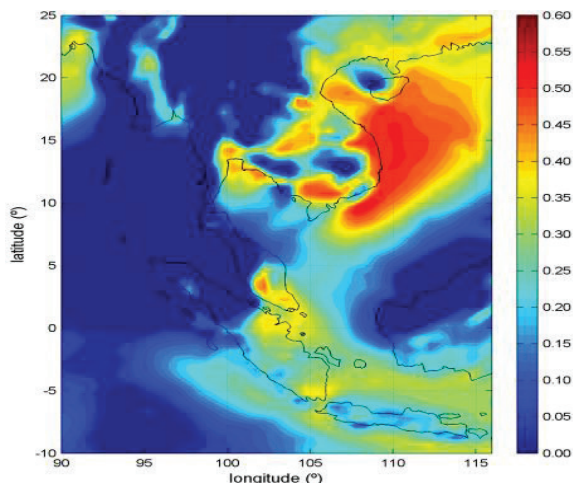


Fig. 4 - Spatial distribution of the Correlation Coefficient between the sea level anomalies in MEH tide gauge and the wind along the Taiwan-Singapore axis.

## 5. CONCLUSIONS

The MSYM model behaves in a different way when simulating the sea level, according to the site analysed. This is due to the region's complexity and to the local influence of several (physical and meteorological) factors. For the Singapore Strait (MEH tide gauge) a good representation of the tide was found (<4%), where the highest discrepancies between observations and predictions are usually associated with the meteorological tide due to the surface wind stress. For the Malacca Strait (HYDEC tide gauges), the highest differences are mainly related with the model's predictions for the astronomical tide (amplitude and phase).

## 6. REFERENCES

- Azmy, A. R., Isoda Y. and Yanagi T. (1991). Sea Level Variations due to Wind around West Malaysia. *Memoirs of the Faculty of Engineering, Ehime University*, XII: 148-161.
- Camerlengo, A. and Demmler, M. I. (1997). Wind-driven circulation of Peninsular Malaysia's eastern continental shelf, *Scientia Marina*, 61, 203-211.
- Choon, L.K., Lye, K.H., Juneng, L. and Tanggang, F. (2006). Simulation of circulation and storm surge in South China Sea. *Int. Conf. on Environment 2006*, 13-15.
- Lyard, F., Lefèvre, F., Letellier, T. and Francis, O. (2006). Modelling the global ocean tides: a modern insight from FES2004. *Ocean Dyn.amics*, 56, 394-415.
- Martins, F., Leitão, P., Silva, A. and Neves, R. (2001). 3D modelling in the Sado estuary using a new generic vertical discretization approach. *Oceanologica Acta 24 (1)*, S51-S62.
- Pawlowicz, R., Beardsley, R. and Lentz, S. (2002). Classical Tidal Harmonic Analysis including Error Estimates in MATLAB using T\_Tide. *Comp. and GeoSciences*, 28, 929-937
- Rizal, S., Setiawan, I., Iskandar, T., Ilhamsyah, Y., Wahid, M. and Musman, M. (2010). Currents Simulation in the Malacca Straits by Using Three-Dimensional Numerical Model. *Sains Malaysiana*, 39 (4), 519-524.
- Tkalich, P., Vethamony, P., Babu, M.T. and Malanotte-Rizzoli, P. (2012). Storm surges in the Singapore Strait due to winds in the South China Sea. *Natural Hazards*
- Vaz, N., Dias, J.M., (2008). Hydrographic characterization of an estuarine tidal channel. *Journal of Marine Systems*, 70 (12), 168-181.

# Simulação numérica da interacção onda-cilindro utilizando o código OpenFOAM

J. Conde<sup>(1)</sup> e T. Moreira<sup>(1)</sup>

(1) UNIDEMI, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. jpc@fct.unl.pt.

**Resumo:** No presente artigo apresentam-se as simulações numéricas feitas, utilizando o código OpenFOAM®, para a interacção de uma onda regular com um cilindro horizontal totalmente submerso, colocado paralelamente à crista das ondas incidentes, com o seu eixo a 3 raios de profundidade. O código numérico utilizado resolve as equações de Navier-Stokes em regime transitório e utiliza um esquema do tipo VoF (Volume of Fluid) para identificar a superfície livre. É estudada a dependência da solução face ao refinamento da malha e feita a comparação dos resultados obtidos com dados experimentais e de outros códigos numéricos. São apresentadas: a elevação da superfície livre nas proximidades do cilindro; perfis de velocidade em localizações seleccionadas ao longo do canal; e o campo de velocidades nas proximidades do cilindro. Constatou-se uma boa correspondência entre os resultados obtidos no âmbito deste trabalho com os experimentais e os obtidos por outros códigos numéricos.

**Palavras-chave:** Interacção onda-cilindro, Simulação numérica, OpenFOAM, Navier-Stokes, Volume of Fluid.

## 1. INTRODUÇÃO

A interacção entre ondas regulares e um cilindro circular submerso, com o eixo paralelo às cristas das ondas incidentes, tem sido estudada analiticamente, experimentalmente e numericamente por muitos autores. O estudo da interacção entre as ondas de superfícies e corpos totalmente submersos é relevante em muitas aplicações de engenharia, como por exemplo: quebra-mares submersos; e alguns dispositivos de aproveitamento de energia das ondas. A presença de um obstáculo submerso próximo da superfície livre pode originar ondas reflectidas e ondas transmitidas modificadas. Estas dependem das características da onda incidente, da forma geométrica do obstáculo e da profundidade a que este está submerso. A grande variedade de estudos disponíveis tornam-no numa boa escolha para validar códigos numéricos.

O primeiro estudo foi efectuado por Dean (1948) e provou que para a primeira ordem, numa abordagem linear, o cilindro não reflecte qualquer energia independentemente do seu raio, profundidade de submersão ou frequência das ondas; e as ondas transmitidas apenas sofrem mudança de fase e não de amplitude. Uma apresentação detalhada dos diferentes estudos disponíveis da literatura pode ser encontrada em Conde *et al.* (2009a) e Hirdaris *et al.* (2014).

O objectivo deste trabalho é a validação do código OpenFOAM® (OpenCFD, 2010) na simulação da propagação de ondas num canal horizontal e a sua interacção com um cilindro submerso. É estudada a dependência da solução face ao refinamento da malha e feita a comparação dos resultados obtidos com dados experimentais e de outros códigos

numéricos, nomeadamente, os códigos FLUENT e CANAL (Conde *et al.*, 2009b).

## 2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O problema em análise corresponde ao estudo experimental efectuado por Conde *et al.* (2009a). A Figura 1 mostra um dos ensaios realizados num canal no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Civil, Arquitectura e Georrecursos do Instituto Superior Técnico, em Lisboa, Portugal. O canal de ondas tem 20 m de comprimento e 0,70 m de largura. A profundidade da água em repouso é de 0,425 m. Utilizou-se um cilindro de PVC com raio exterior  $r = 0,025$  m, colocado horizontalmente a 6,95 m do gerador de ondas, com o seu eixo paralelo à crista das ondas e a 0,075 m ( $3r$ ) de profundidade. Para minimizar os efeitos de profundidade finita e atrito no fundo escolheu-se uma onda com frequência  $f = 1,4$  Hz. Para esta frequência o comprimento de onda é  $L = 0,796$  m, respeitando por isso a condição de água profunda. A amplitude das ondas considerada neste estudo é  $a = 0,0119$  m.



Fig. 1. Ensaio em modelo físico (Conde *et al.*, 2009a).

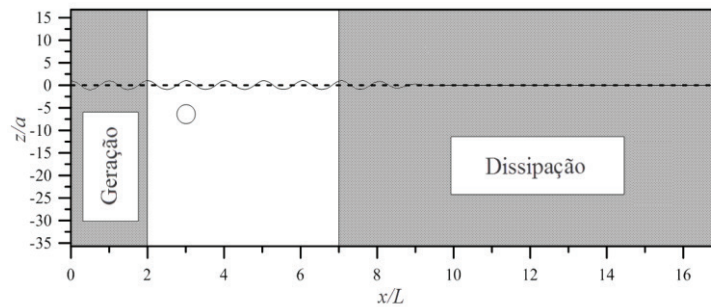


Fig. 2. Domínio de cálculo com indicação das zonas de relaxação relativas à geração e dissipação das ondas.

O canal está equipado com um gerador de ondas do tipo pistão com absorção dinâmica. A energia das ondas é dissipada num perfil de enrocamento com 20° de inclinação na outra extremidade do canal. O coeficiente de reflexão médio para estes ensaios foi de 0,057 (Conde *et al.*, 2009a).

### 3. CÓDIGO NUMÉRICO

O OpenFOAM® (*Open Field Operation and Manipulation*) é um pacote de software (bibliotecas) gratuito e de código fonte aberto (*Open Source*). Este código é tradicionalmente compilado em sistema operativo Linux. Nas simulações efectuadas neste trabalho foi utilizada a versão 1.7.1, instalada em sistema operativo Ubuntu 10.04LTS.

Foi utilizado o solver InterFoam que permite resolver escoamentos bifásicos com superfície livre. Este resolve as equações RANS (*Reynolds Averaged Navier-Stokes*) e da continuidade para dois fluidos incompressíveis, imiscíveis e isotérmicos, juntamente com a equação de transporte da fracção de volume, que toma o valor 0 no ar e 1 na água. O algoritmo é baseado no método VoF (*Volume of Fluid*). Este solver utiliza o método limitador multidimensional universal para solução explícita, MULES (*Multidimensional Universal Limiter for Explicit Solution*), para manter os limites da fracção de volume independentes do esquema numérico subjacente, estrutura da malha, etc. Mais detalhes sobre o algoritmo de resolução, os esquemas de discretização e de interpolação utilizados podem ser encontrados em Moreira (2012).

### 4. CONDIÇÕES DE SIMULAÇÃO

O domínio computacional (Fig. 2) é semelhante ao utilizado por Conde *et al.* (2009b) para o código numérico FLUENT. Trata-se de um canal bidimensional com o limite superior 0,2 m acima da superfície livre em repouso e com 0,425 m de profundidade e tem apenas 17L de comprimento de modo a reduzir o tempo de cálculo. O eixo do cilindro localiza-se em  $x_c=3L$ . Foram testados dois métodos de geração de ondas: as bibliotecas *waves2Foam* (Jacobsen *et al.*, 2012) e *groovyBC*. Nas simulações efectuadas com a biblioteca *waves2Foam* utilizou-se uma zona de relaxação com

2L de comprimento na direcção de propagação da onda para gerar ondas de primeira ordem. Para a biblioteca *groovyBC* aplicaram-se as equações das componentes da velocidade e da fracção de volume, para a teoria linear das ondas, na fronteira esquerda do domínio. Na fronteira oposta utilizou-se uma praia de dissipação numérica com um comprimento de 10L.

Utilizaram-se malhas bidimensionais mistas com volumes finitos triangulares e rectangulares (Fig. 3) semelhantes às utilizadas por Conde e Didier (2009). A superfície do cilindro é discretizada utilizando 120 segmentos de igual dimensão. A região compreendida entre  $2 \leq x/L \leq 7$  e  $-1,5 \leq z/a \leq 1,5$  é composta por volumes rectangulares de igual dimensão, fora dessa região os volumes aumentam progressivamente de tamanho na direcção das fronteiras exteriores. Foram consideradas 4 níveis de discretização nessa região: segundo a horizontal, com segmentos de 0,003 m de comprimento (malha I), 0,005 m (malhas II e III) ou 0,01 m (malha IV); segundo a vertical, com segmentos de 0,001 m (malhas I, II e IV) ou 0,0015 m (malha III).

O código FLUENT é também um código RANS-VoF com geração de ondas semelhante à biblioteca *groovyBC*. O código CANAL é um código potencial não linear com um gerador de ondas do tipo pistão.

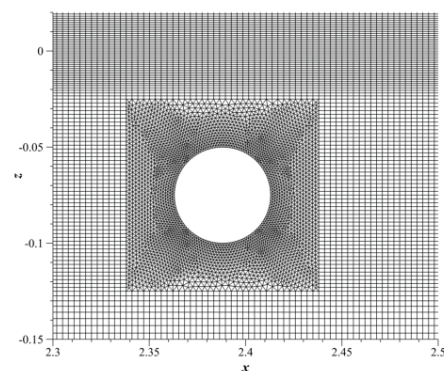


Fig. 3. Pormenor da malha de discretização.

### 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4a apresenta as deformações da superfície livre obtidas para as diferentes malhas em conjunto com os resultados experimentais, enquanto que na

Figura 4b se faz a comparação de diferentes códigos para a malha mais refinada. Observa-se que, de um modo geral, existe concordância entre os resultados apresentados. São claramente visíveis as perturbações originadas na superfície livre após a passagem da onda sobre o cilindro. Não existe grande diferença entre as soluções obtidas pelas

malhas I e II, a solução obtida pela malha IV apresenta demasiada difusão e a solução da malha III apresenta um comportamento intermédio. A utilização da biblioteca *groovyBC* com a malha I mostra que existe dependência da solução com a forma como é gerada a onda.

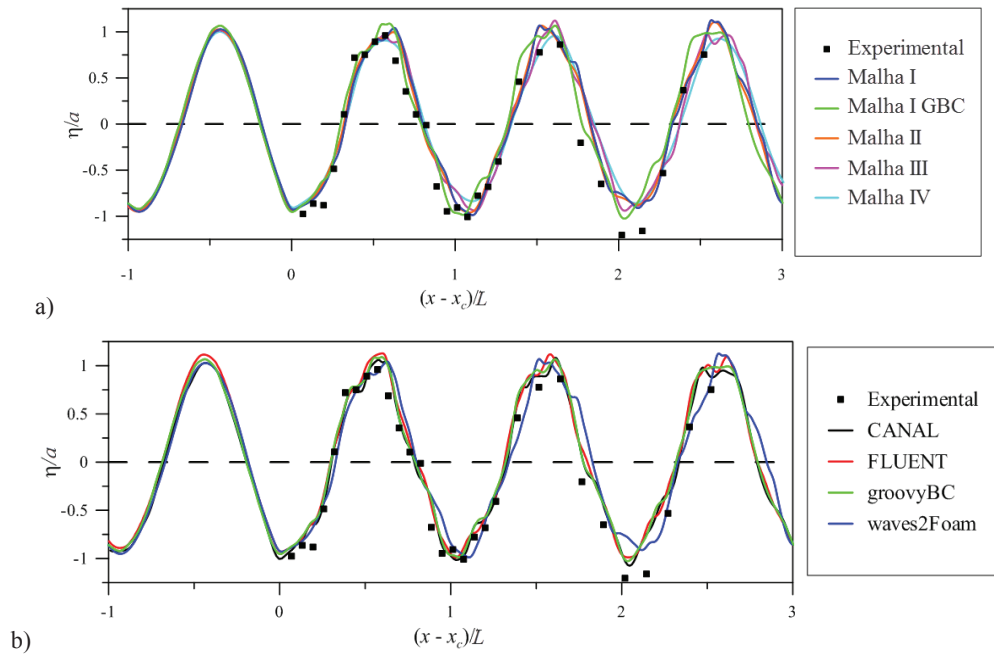


Fig. 4. Deformações da superfície livre: a) comparação de diferentes malhas; b) comparação de diferentes códigos.

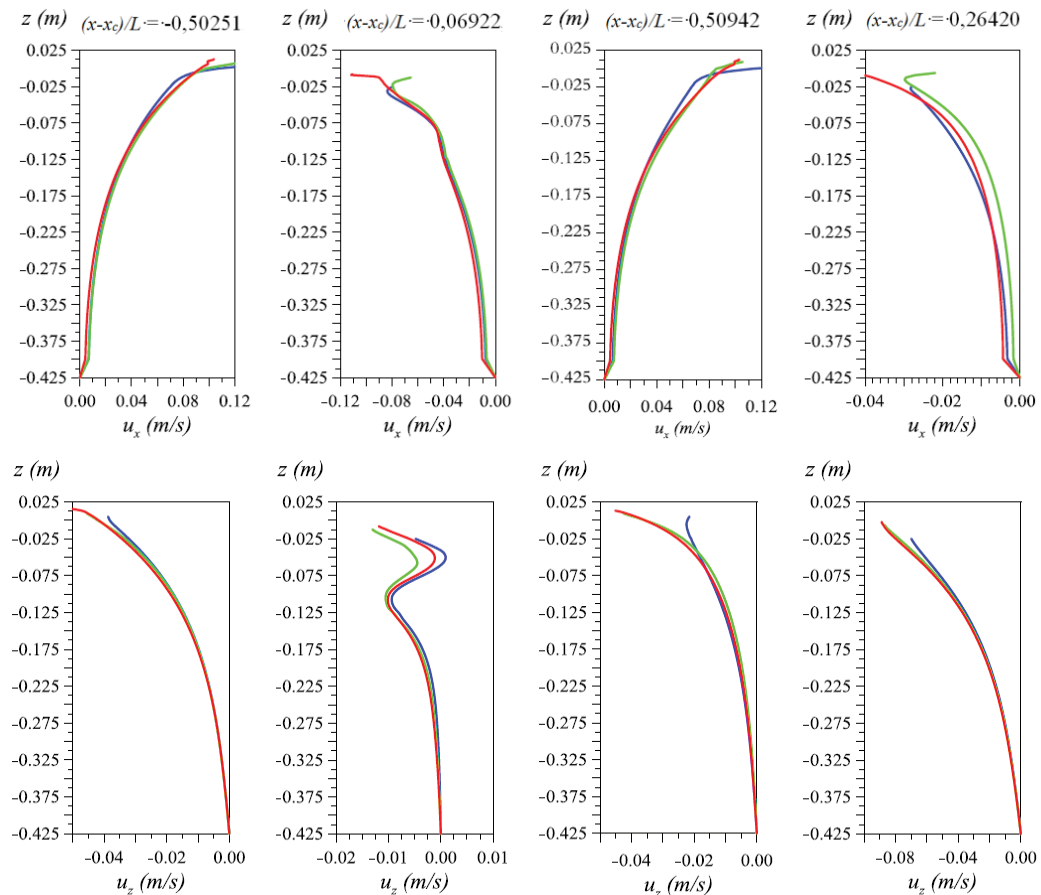


Fig. 5. Perfis de velocidade: verde – groovyBC; azul - waves2Foam; vermelho - FLUENT (Conde et al., 2009b).



Os resultados obtidos por diferentes códigos numéricos (Fig. 4b) utilizando a malha mais refinada apresentam boa concordância entre si. As pequenas diferenças verificadas não podem ser consideradas significativas. Tal como no caso da Figura 4a os resultados evidenciam a dependência da solução com a forma como é gerada a onda.

Na Figura 5 estão representados perfis de velocidade em quatro localizações no canal, à semelhança do feito por Conde *et al.* (2009b). Os resultados são globalmente semelhantes, no entanto existem algumas diferenças nas proximidades da superfície livre, o que mostra dependência da solução em relação ao código numérico e ao processo de geração das ondas.

Na Figura 6 está representada a distribuição do módulo de velocidade em torno do cilindro. Apresentam-se as duas soluções obtidas para o OpenFOAM e a solução obtida com o código FLUENT (Conde *et al.*, 2009b).

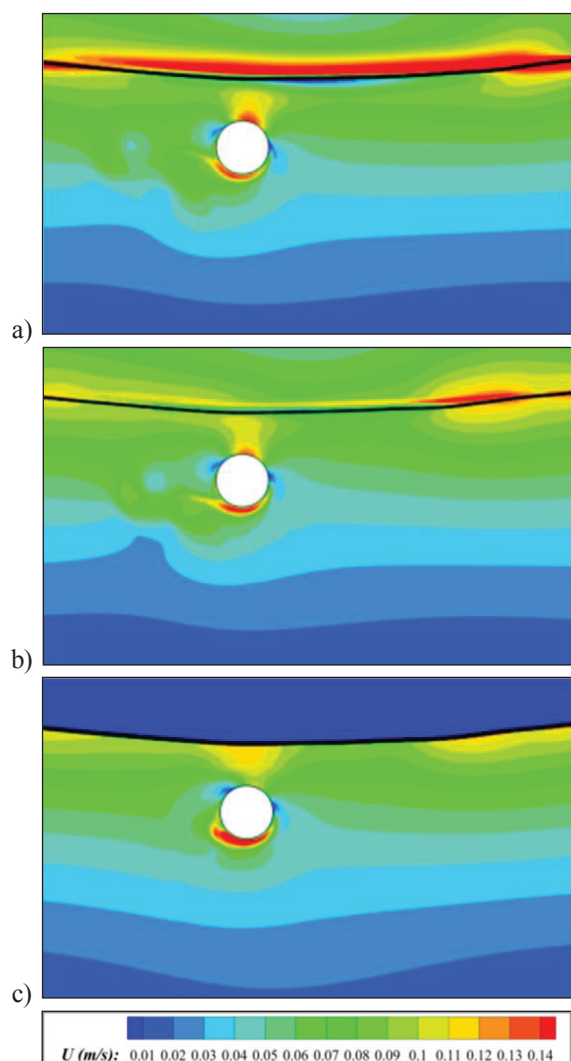


Fig. 6. Distribuição do módulo da velocidade em torno do cilindro no instante representado na figura 4: a) waves2Foam; b) groovyBC; c) FLUENT (Conde *et al.*, 2009b).

Tal como nos resultados apresentados anteriormente, estas figuras ilustram campos com algumas diferenças em aspecto e em valor. Em ambos os resultados do OpenFoam verificam-se variações mais abruptas do campo na parte inferior do cilindro do que na solução obtida pelo FLUENT. Estas diferenças não deverão ser unicamente devidas ao processo de geração das ondas, mas também a diferenças dos próprios modelos/códigos.

### Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) através do projecto DITOWEC (PTDC/ECM-HID/1719/2012).

### REFERÊNCIAS

- Conde, J.M.P. e Didier, E. (2009). Simulação numérica de um dispositivo de aproveitamento da energia das ondas do tipo coluna de água oscilante. *Actas 9º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica (CIBIM9)*, Las Palmas de Gran Canaria, España, Cap. 5, 88-95.
- Conde, J.M.P., Didier, E., Lopes, M.F.P. and Gato, L.M.C. (2009a). Nonlinear Wave Diffraction by Submerged Horizontal Circular Cylinder. *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 19 (3), 198–205.
- Conde, J.M.P., Didier, E. e Teixeira, P.R.F. (2009b). Simulação numérica da interacção de uma onda regular com um cilindro submerso: Comparação de três códigos numéricos. *Actas da III Conferência Nacional em Mecânica de Fluidos, Termodinâmica e Energia (MEFTE2009)*, Bragança, Portugal.
- Dean, W.R. (1948). On the Reflection of Surface Waves by a Submerged Circular Cylinder. *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 44, 483-491.
- Hirdaris, S.E., Bai, W., Dessi, D., Ergin, A., Gu, X., Hermundstad, O.A., Huijsmans, R., Iijima, K., Nielsen, U.D. Parunov, J., Fonseca, N., Papanikolaou, A., Argyriadis, K., Incecik, A. (2014). Loads for use in the design of ships and offshore structures. *Ocean Engineering*, 78, 131-174.
- Jacobsen, N.G, Fuhrman, D.R. and Fredsøe, J. (2012). A wave generation toolbox for the open-source CFD library: OpenFoam®. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 70, 1073-1088.
- Moreira, T.M. (2012). *Contribuição para a validação do código numérico OpenFOAM em escoamentos com superfície livre*. Dissertação de mestrado, FCT-UNL, Portugal.
- OpenCFD (2010). *OpenFoam – The Open Source CFD Toolbox User Guide (Version 1.7.1)*.

## 3D coupled system for wave-current modeling in the nearshore zone

M. J. Teles <sup>(1)</sup> A.A. Pires-Silva <sup>(1)</sup> and M. Benoit <sup>(2)</sup>

(1) Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. mjteles@gmail.com

(2) Saint-Venant Hydraulics Laboratory (EDF R&D, CEREMA, ENPC), 6 quai Watier, BP 49, 78401 Chatou, France

**Abstract:** The coastal domain is characterized by a permanent interaction between the ocean and the mainland that are, typically associated with a number of changes in the littoral zone. For example, incident waves on a beach can induce strong currents, such as longshore and/or rip currents that can have a significant impact on the nearshore morphodynamics and even be dangerous for beachgoers. In order to analyse the wave-current interaction phenomena, a fully three-dimensional coupled system was developed between the hydrodynamic circulation model TELEMAC-3D and the spectral wave model TOMAWAC. The theoretical framework is based on the glm2z-RANS equations. The new tool was then validated against laboratory data featuring a rip current system generated by waves breaking on a barred beach. The numerical results showed to agree fairly well with measurements of the significant wave height and mean water level (MWL). Also, the flow patterns and the vertical structure of the rip currents exhibit a pretty reasonable resemblance with observations.

**Key words:** TELEMAC-3D, TOMAWAC, Coupled system, glm2z-RANS, Rip currents, Barred beach

### 1. INTRODUCTION

The coastal domain is a complex system where several phenomena characterized by different time and spatial scales interact. Among these phenomena it is essential to take into account the wave-current interaction. Processes like intense wave breaking and consequent wave-induced generated currents can have a strong impact on nearshore morphodynamics. Depending on the beach morphology and/or on the incident wave field structure, the generated currents will present different behaviours. If, for instance, the beach has sand bars or cusps rip currents can be generated. This kind of currents can attend large velocities, of the order of magnitude of 1 m/s and can drag a swimmer several meters offshore.

Therefore in the past decade a great effort has been made to be able to model and get a fully three-dimensional description of the combined environment of currents and waves.

In the present work, a new engineer-oriented tool is presented through the development of a new two-way coupled system that models wave-current interaction and its effects. The TELEMAC-MASCARET numerical platform was used for that purpose. The three-dimensional hydrodynamic circulation model TELEMAC-3D (Hervouet, 2007) was coupled to the spectral wave model TOMAWAC (Benoit et al., 1996). The hydrodynamic model had to be adapted to include the theoretical formulation proposed by Arduin et al. (2008), which was adapted by Bennis et al (2011) for practical implementation. Additional parameterizations to take into account non-conservative effects, such as depth-induced wave breaking, wave dissipation due to bottom friction or

wave-enhanced vertical mixing were also included and calculated in the spectral wave model.

The numerical results given by the coupled system were then verified with laboratory data (Haas and Svendsen, 2002, Haller et al., 2002). These data offers a rip current system generated by waves breaking on a barred beach. Comparisons of the significant wave height and mean water level evolutions across two different transect were made. Moreover, both the general flow patterns and the vertical structure of the rip currents were analysed.

### 2. COUPLED SYSTEM

#### 2.1. Hydrodynamic circulation and wave model

The three-dimensional hydrodynamic circulation model TELEMAC-3D version v6.p2 (Hervouet, 2007) was the chosen model. TELEMAC-3D is incorporated in the TELEMAC-MASCARET system, developed at EDF R&D, Chatou, France, which is available as open source at [www.opentelemac.org](http://www.opentelemac.org). In order to take into account the three-dimensional effects of waves on the currents, some modifications were carried out in the model. The theoretical framework is based on the proposition made by Arduin et al. (2008). These authors use a vortex force formalism and the quasi-Eulerian velocities ( $\hat{u}_\alpha, \hat{w}$ ). To second order, they are defined by the difference between the Lagrangian mean velocity and the Stokes drift ( $U_{\beta s}, W_s$ ). The following mass (1) and momentum (2) equations were then obtained in the hydrodynamic model:

$$\frac{\partial \hat{u}_\alpha}{\partial x_\alpha} + \frac{\partial \hat{w}}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \hat{u}_\alpha}{\partial t} + \hat{u}_\beta \frac{\partial \hat{u}_\alpha}{\partial x_\beta} + \hat{w} \frac{\partial \hat{u}_\alpha}{\partial z} = S_{\alpha\alpha} - g \frac{\partial \hat{\eta}}{\partial x_\alpha} + \frac{\partial}{\partial x_\beta} \left( \nu_H \frac{\partial \hat{u}_\alpha}{\partial x_\beta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( (\nu_z + \nu_{wbz}) \frac{\partial \hat{u}_\alpha}{\partial z} \right) - \epsilon_{\alpha\beta\gamma} (f_3 + \omega_3) U_{\beta\gamma} - W_s \frac{\partial \hat{u}_\alpha}{\partial z} - \frac{\partial J}{\partial x_\alpha} \quad (2)$$

$g$  is the acceleration due to gravity.  $S_x$  represents the hydrodynamic model horizontal source terms.  $\nu_H$  and  $\nu_z$  are, respectively, the horizontal and vertical molecular and turbulence viscosities. The viscosity values can either be prescribed by the user or computed by a turbulence closure model. Furthermore, the vertical viscosity value was modified in order to take into account the wave-enhanced vertical mixing ( $\nu_{wbz}$ ). This effect was taken into account by including in the model the formulation proposed by Uchiyama et al. (2010).

The new terms included in the hydrodynamic model momentum equations are the wave forcing terms, namely, the three components of the Stokes drift and the wave-induced pressure ( $J$ ). The vortex force is represented by  $\epsilon_{\alpha\beta\gamma} \omega_3 U_{\beta\gamma}$ . It is the vectorial product between the mean flow vertical vorticity  $\omega_3$  and the horizontal Stokes drift.  $\epsilon_{\alpha\beta\gamma} f_3 U_{\beta\gamma}$  represents the Stokes-Coriolis force.

In order to insure mass conservation, the mass induced by the Stokes drift has to be taken into account. Therefore the depth integrated continuity equation was also modified (3). The symbol  $\bar{(\cdot)}$  denotes the depth-integrated variable.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{u}_\alpha}{\partial x_\alpha} = - \frac{\partial h \bar{U}_{\alpha s}}{\partial x_\alpha} \quad (3)$$

In addition, the bottom shear stress in the hydrodynamic model was also modified to consider the wave-current interaction, following the Christoffersen and Jonsson (1985) theoretical framework. At the offshore open boundary, two conditions are imposed for the phase-averaged elevation  $\left( \hat{\eta} = - \frac{J}{g} \right)$  and the horizontal velocities

$\hat{u}_\alpha = -U_{\alpha s}$ . The momentum lost by waves due to depth-induced wave breaking and bottom friction was imposed in the hydrodynamic model as free surface and bottom stresses, respectively. These non-conservative wave forcing effects were included and calculated in the wave model. The third generation spectral wave model TOMAWAC v6.p2 (Benoit et al. 1996) was used. The model uses unstructured grids and solves the conservation of wave action ( $N$ ) equation in Cartesian ( $x, y$ ) (4) or spherical spatial coordinates.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \dot{x} \frac{\partial N}{\partial x} + \dot{y} \frac{\partial N}{\partial y} + \dot{k}_x \frac{\partial N}{\partial k_x} + \dot{k}_y \frac{\partial N}{\partial k_y} = Q(k_x, k_y, x, y, t) \quad (4)$$

A number of source and sink terms ( $Q$ ) can be taken into account: wind driven wave generation, wave-wave interaction, energy dissipation by bottom friction, depth-induced breaking and whitecapping. It also accounts for the water depth evolution due to tides and surges. For additional details about the mathematical formulation, please refer to Benoit et al. (1996).

### 3. RIP CURRENT SYSTEM

#### 3.1. Laboratory data and model setup

Haller et al. (2002) and Haas et al. (2002) conducted a series of experiments in a laboratory basin. The facility is located in the basin of the Ocean Engineering Laboratory (University of Delaware, U.S.A.). It has dimensions of 17.2 m in the cross-shore direction and 18.7 m in the longshore direction. The cross-shore bathymetry profile is divided into two sections: offshore there is a slope of 1:5 between 1.5 m to 3.0 m starting from the wave maker and then a slope with 1:30 takes place until the end of the wave basin. Parallel to the coastline there is a fixed bar with two channels which have a length of around 1.82 m and a height of 0.06 m. They are located approximately 11.8 m from the offshore wave-maker. Monochromatic waves were generated and propagated perpendicular to the beach and together with the bottom morphology, led to the formation of a rip current system. Haller et al. (2002) got a horizontal coverage over the wave basin, measuring the wave height and mean water levels evolution across the beach in different cross-shore sections. Haas et al. (2002) have also included in their analysis the output of three Acoustic Doppler Velocimeters that had the possibility of being located at three different positions over the water depth and assess the vertical structure of the rip currents. This data was used to compare with the numerical simulations and test the capability of the coupled system to model rip currents. The computational domain was discretized equally for both models, with  $\Delta x = \Delta y = 0.2$  m, and was divided in eight horizontal planes in the  $z$  direction for the 3D flow model. The offshore depth was  $h = 0.68$  m. The time step was set to  $\Delta t = 0.03$  s for both models. The lateral and shoreward boundaries were defined with walls. At the offshore boundary of the hydrodynamic model the conditions referred above were imposed. At the bottom a value of  $k_s = 0.01$  m was set for the Nikuradse roughness parameter. For the turbulence closure model, the  $k-\epsilon$  LP model was chosen. The horizontal viscosity was the parameter used to better fit experimental data and achieves a smoother solution. A value of  $\nu_H = 0.2$  m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup> was adopted. The numerical simulations with TOMAWAC were performed with spectral parameters that match the monochromatic laboratory experiments. This way, a significant wave height was set to  $H_s = 0.067$  m. The minimum frequency



was set to 0.187 Hz, the number of frequencies to 7 and the frequential ratio to 1.4. The direction discretization was made through 24 direction bins. For the depth induced breaking the model proposed by Thornton and Guza (1983) was chosen with  $\gamma = 0.9$  and  $B = 1$ . In Figure 1 the wave basin topography is shown.

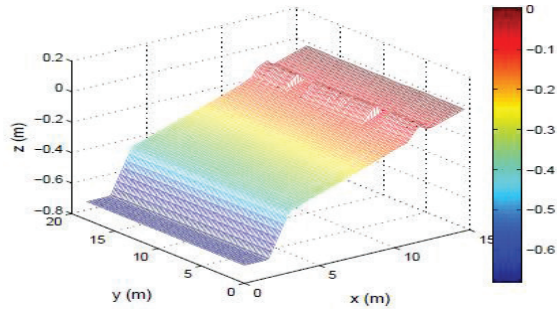


Fig. 1. Wave basin topography of the barred beach test-case.

### 3.2. Analysis and discussion of results

In Figure 2, the comparison of the significant wave height and mean water level along one transect over the bar ( $y = 9.20$  m, left panels) and another through the rip channel ( $y = 13.65$  m, right panels) are shown.

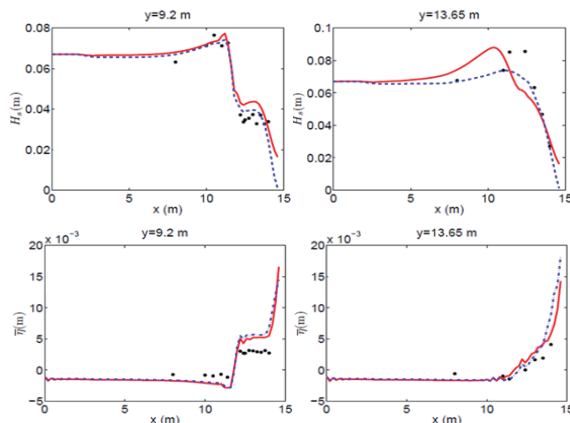


Fig. 2. Cross-shore evolution at  $y = 9.20$  m and  $y = 13.65$  m of  $H_s$  (top panels) and mean surface elevation (bottom panels) taking (continuous line) and not taking (dashed line) into account the effects of currents on the wave field. Comparison between numerical results (line) and data (dots) from Haller et al. (2002).

The numerical simulations take into account the effects of currents on waves (continuous line) in one case, and do not take them into account (dashed line) in the other case. When encountering the bar waves break suddenly (upper panel) which is accompanied by a sudden rise of the mean water level (lower panel). Through the rip channel the waves have a significant shoaling before breaking (upper panel) with a progressive rise of the mean water level (lower panel). The shoaling is only reproduced if the effects of currents on the waves are accounted for. However, some difficulties were encountered by the coupled system in reproducing the exact location where waves start to break through the rip channel. Possibly, the numerical opposing currents were too

strong and induce the waves to break earlier than observed in the experiments.

The longshore variability of the mean surface elevation that slopes downward to the rip channel generates longshore pressure gradients that are going to induce feeder currents oriented offshore that converge into the rip channel and onshore-oriented currents over the bars. A recirculation cell is generated. The waves that break further into the channel induce another recirculation cell in the inshore zone. These features can be seen on Figure 3 where it is shown the flow patterns obtained by the coupled system (on the left panel) and measured by Haller et al. (2002) (on the right panel).

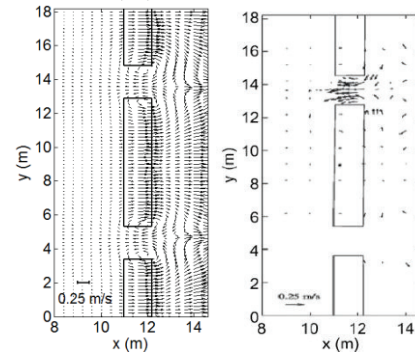


Fig. 3. Time-averaged velocity vectors at approximately 0:03 m from the bottom obtained by the numerical model (left panel) and by experimental data (Haller et al., 2002) (right panel).

The vectors represent the time-averaged velocity obtained at 3 cm above the bottom. It can be verified that there is a fairly good agreement between numerical results and experimental data.

Figure 4 presents the magnitude of the vorticity and the velocity field on the left panel and the vortex force on the right panel.

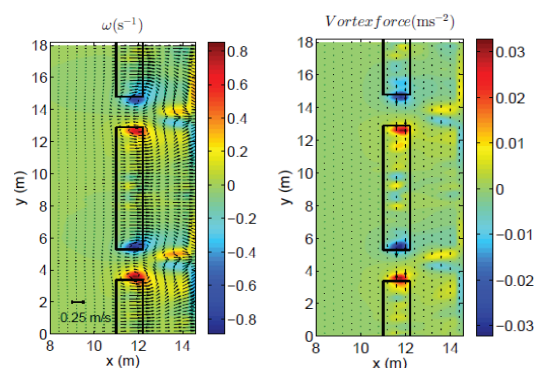


Fig. 4. The magnitude of the vorticity field obtained by the numerical model together with the velocity vectors (on the left panel) and the vortex force (on the right panel). The variables are represented near the free surface.

The vortices interact with the Stokes drift induced by the incoming waves, generating a strong vortex force in the longshore direction. It can be seen that the greater values of the vortex force correspond to the vortices shown on the left panel. The vortex force is negligible over the rest of the domain. This



is evidence that the vortex force has an essential role in forming and maintaining these vortices.

Haas and Svendsen (2002) measured the vertical structure of the rip currents and applied a bin average technique to analyse the data. The same kind of treatment was done for the numerical results. The different bins were grouped depending on the magnitude of the near surface cross-shore velocity ( $u_1$ ). The criteria used were: bin 25 ( $u_1 > 0.25$  ( $\text{ms}^{-1}$ )) and bin 10 ( $0.15 > u_1 > 0.10$  ( $\text{ms}^{-1}$ )). The horizontal viscosity was decreased to  $\nu_H = 0.001 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  to get a better agreement with laboratory data.

In Figure 5 it is shown the comparison within these two bins at  $y = 13.6$  m. In the upper panel it can be seen that at  $x = 9$  m, the cross-shore velocity magnitude increases from the bottom towards the free surface and the vector is directed offshore. From  $x = 11$  m till the shoreline, the velocity reaches its maximum below the bar-crest level and starts to slightly decrease near the free surface. The vertical distribution of the cross-shore velocities is well represented by the numerical model in the vicinity of the rip channel. Nevertheless, offshore the bar, while the measurements show that the rip current is mostly confined to the surface layer, the computed velocity profiles do not have the same behaviour, attaining larger values over the water depth.

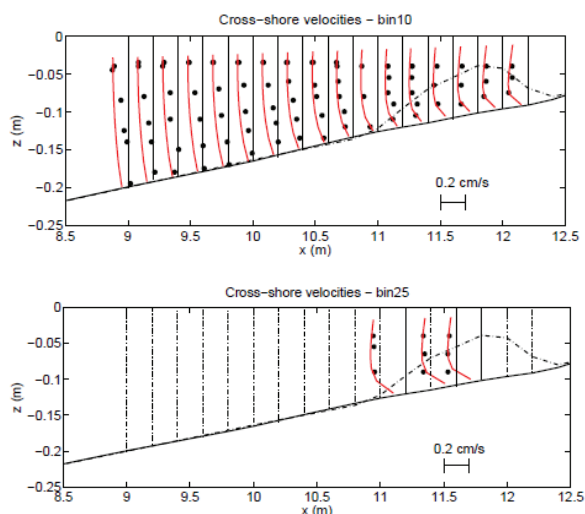


Fig. 5. Comparison of the cross-shore velocity vertical profiles through the rip channel direction ( $y = 13.6$  m) from numerical model and Haas and Svendsen (2002) experimental data within bins 10 and 25. The full vertical lines represent the measurement sections.

In the lower panel of Figure 5 it is observed that the coupled system is able to reproduce the highest velocities present in the wave basin near the free surface.

#### 4. CONCLUSIONS

The new coupled system showed to give fairly good results to the measurements made in the laboratory basin. Therefore, at least at this scale, it was verified the capability of modelling this combined environment in the nearshore zone.

#### REFERENCES

- Ardhuin F., Rasclé N., Belibassakis K.A. (2008). Explicit wave-averaged primitive equations using a generalized Lagrangian mean. *Ocean Modelling*, Vol. 20(1), pp 35-60
- Bennis A.-C., Ardhuin F., Dumas F. (2011). On the coupling of wave and three-dimensional circulation models: Choice of theoretical framework, practical implementation and adiabatic tests. *Ocean Modelling*, Vol. 40(3-4), pp 260-272
- Benoit M., Marcos F., Becq F. (1996). Development of a third generation shallow water wave model with unstructured spatial meshing. *Proc. 25th Int. Conf. on Coastal Eng. (ICCE'1996)*, 2-6 September 1996, Orlando (Florida, USA), pp 465-478
- Christoffersen, J. B., Jonsson, I. G., (1985). Bed friction and dissipation in a combined current and wave motion. *Ocean Engineering*, Vol. 12, pp 387-949 423.
- Haas, K. A., Svendsen, I. A. (2002). Laboratory measurements of the vertical structure of rip currents. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107 (C5), 3047
- Haller, M. C., Dalrymple, R. A., Svendsen, I. A., (2002). Experimental study of nearshore dynamics on a barred beach with rip channels. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107 (C6), 3061
- Hervouet J.-M. (2007) *Hydrodynamics of free surface flows, modelling with the finite element method*. Editions Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-03558, 342 p.
- Thornton, E. B., Guza, R. T. (1983), Transformation of wave height. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 88 (C10), 5925-5938.
- Uchiyama, Y., McWilliams, J. C., Shchepetkin, A. F., (2010). Wave-current interaction in an oceanic circulation model with a vortex-force formalism: Application to the surf zone. *Ocean Modelling*, Vol. 34, pp 16-35

# ESTUDO DO ESCOAMENTO DE ONDAS E CORRENTES – APLICAÇÃO DO MODELO IH-2VOF

J. Lopes (1)

(1) Praceta de Sagres nº7 2º direito 2700-725 Amadora, [zedu83@hotmail.com](mailto:zedu83@hotmail.com)

**Resumo:** Este estudo consiste na aplicação do modelo numérico IH-2VOF ao estudo da interação de ondas e correntes, reproduzindo-se os ensaios em modelo físico realizados por Klopman (1994).

**Palavras-chave:** Ondas, Corrente, Modelo, Numérico, IH-2VOF

## 1. INTRODUÇÃO

O perfil vertical do campo da velocidade média horizontal resultante da presença de ondas de superfície e corrente é fortemente influenciado pela interação das ondas de superfície com a corrente.

Klopman (1994) efetuou uma série de ensaios experimentais para estudar a cinemática do escoamento da propagação de ondas de superfície com a presença de uma corrente no mesmo sentido e o no sentido oposto, para profundidades intermédias e fora da zona de rebentação.

Este estudo consiste na aplicação do modelo numérico IH-2VOF ao estudo da interação de ondas e correntes, reproduzindo os ensaios em modelo físico realizados por Klopman (1994).

## 2. ASPETOS DE INTERAÇÃO ONDA-CORRENTE

O perfil vertical da velocidade média horizontal difere quando existem apenas ondas, apenas corrente ou quando ocorrem simultaneamente ondas e corrente.

Quando as ondas se propagam na presença de uma corrente, esta irá afetar as características das ondas que por sua vez afetam o perfil de velocidades da corrente.

Numa aproximação estritamente linear, o campo de velocidades na presença de ondas e de uma corrente uniforme deveria ser igual à soma da velocidade devido à onda com a corrente.

No entanto, na determinação do campo de velocidades horizontais resultante da interação de ondas e corrente é necessário ter em conta:

- O facto de existir um transporte de massa entre a sua crista e a sua cava induzido pela onda na direção da sua propagação que tem que ser compensado por uma “corrente de retorno”;
- O facto de existir um escoamento devido à corrente, que vai alterar a “corrente de retorno”.

Kemp e Simons (1982, 1983), dos primeiros a estender as observações a toda a coluna líquida, efetuaram ensaios de laboratório para estudar a distinta influência das ondas no perfil de velocidades

da corrente, em particular para medir as velocidades médias num campo de ondas regulares, propagando-se no mesmo sentido e no sentido contrário à corrente, no caso de fundos horizontais lisos e rugosos.

Kemp e Simons (1982, 1983) observaram diferenças no perfil de velocidades para escoamentos sobre fundos lisos e rugosos e para ondas a propagarem-se no sentido da corrente e no sentido oposto.

No caso das ondas se propagarem no sentido da corrente num fundo liso observaram:

- Aumento das velocidades junto ao fundo;
- Redução das velocidades junto à superfície;
- Os efeitos são mais significativos com o aumento da altura de onda.

No caso das ondas se propagarem no sentido da corrente num fundo rugoso observaram:

- Redução das velocidades junto do fundo e da superfície;
- Aumento das velocidades em profundidades intermédias.

No caso das ondas se propagarem no sentido contrário da corrente observaram:

- Redução das velocidades junto ao fundo;
- Aumento das velocidades junto da superfície;
- Os efeitos mais significativos com o aumento da altura de onda.

## 3. ENSAIOS EM MODELO FÍSICO DE KLOPMAN (1994)

Os ensaios foram escolhidos de forma a poderem simular, tipicamente, as condições que ocorrem na costa holandesa (Protótipo), fora da zona de rebentação.

A instalação utilizada para efetuar os ensaios foi um canal com um comprimento de 46m, largura de 1m e uma profundidade total de 1,2m.

Em cada uma das extremidades do canal existia um batedor, acionado por um sistema hidráulico e equipado com um sistema de absorção. Para gerar uma corrente constante em todo o canal, este foi equipado de um circuito fechado onde se dava a circulação de um determinado caudal.

As condições escolhidas foram as que se apresentam na Tabela I.

	<b>Protótipo</b>	<b>Modelo</b>
<b>Profundidade média <math>h</math></b>	10,0m	0,5m
<b>Período de onda dominante <math>T_d</math></b>	7,00s	1,44s
<b>Amplitude de onda <math>H_{rms}</math></b>	1,200m	0,060m
<b>Velocidade média da corrente <math>u</math></b>	0,70m/s	0,16m/s
<b>Caudal <math>Q</math></b>	-	80l/s
<b>Rugosidade do fundo <math>r</math></b>	-	2mm

Tabela I - Condições dos ensaios de Klopman (1994).

Foi necessário alterar ligeiramente o valor do período de onda para 1,44s para prevenir fenómenos de ressonância que levavam ao aparecimento de ondas cruzadas transversais no canal.

Foram realizados ensaios com ondas monocromáticas sem corrente, com corrente na direção da propagação das ondas e também com corrente na direção contrária à propagação das ondas.

#### 4. MODELO IH-2VOF

O modelo IH-2VOF foi desenvolvido na Universidade de Cantabria, Espanha, com base no modelo *CORnell BReaking waves And Structures* da Universidade de Cornell (COBRAS-UC) e consiste num modelo numérico, bidimensional, baseado em equações de RANS (*Reynolds Averaged Navier-Stokes*), complementado com um modelo de turbulência (modelo  $\kappa$ - $\epsilon$ ) e um método de definição da superfície livre (*Volume Of Fluid*) (Lara et al. 2006).

Para este caso específico de aplicação, foi realizada uma alteração no código do modelo pela Universidade de Cantabria. Na versão atual é possível introduzir uma corrente constante em cada fronteira do modelo. De forma a introduzir uma corrente na fronteira inferior do modelo que variasse em diferentes pontos desta fronteira, o programa foi alterado para permitir introduzir um ponto da fronteira inferior no qual se altera o sinal da corrente, sendo positivo a montante e negativo a jusante. Desta forma é possível reproduzir a entrada de um caudal numa zona da fronteira e retirá-lo noutra zona do modelo.

O fundo do canal do modelo numérico foi reproduzido como impermeável exceto em duas zonas onde se colocaram pequenos orifícios, de dimensão semelhante aos existentes no modelo físico, onde, a montante, se introduzia uma corrente que simulava o caudal introduzido no modelo físico, e a jusante se retirava uma corrente de igual valor, que simulava o caudal escoado a jusante no modelo físico.

#### 5. APLICAÇÃO DO MODELO IH-2VOF

Na aplicação do modelo numérico, fez-se uma transposição das características dos ensaios em modelo físico de Klopman (1994) para os ensaios bidimensionais no modelo numérico.

Para a definir a malha a utilizar no modelo usou-se a interface gráfica CORAL, a qual permite gerar todo o tipo de geometrias, obstáculos, meios porosos e condições iniciais da superfície livre. A definição da malha foi escolhida e testada de maneira a que tivesse o detalhe suficiente em algumas zonas do escoamento, nomeadamente na zona do centro do canal junto ao fundo onde são medidos com mais detalhe os perfis de velocidade, mas tentando não aumentar em demasia o tempo de cálculo.

Foram definidas dez sondas numéricas, seis correspondentes às sondas de nível presentes na instalação experimental de Klopman (1994) e mais quatro em posições intermédias. As sondas numéricas registam a variação no tempo da elevação da superfície livre e da velocidade do escoamento nos pontos da malha de toda a coluna de água

Os primeiros ensaios tiveram como alvo a velocidade de corrente (#SP). O objetivo destes ensaios foi encontrar o valor para a velocidade da corrente estacionária no modelo numérico que produzisse um perfil de velocidades o mais semelhante possível ao do modelo físico. Para isso foi necessário definir a rugosidade do fundo e calibrar o modelo de turbulência.

Para simular a rugosidade do fundo introduziu-se no fundo do canal um meio poroso com 0,02 m de espessura no qual se definem os valores da porosidade e do diâmetro mediano das partículas,  $D50$ .

Foi utilizado o modelo de turbulência  $\kappa$ - $\epsilon$ , para isso, o modelo IH-2VOF realiza uma correção da viscosidade turbulenta, que é feita com base no valor da viscosidade turbulenta, calculada pelo modelo e num parâmetro  $\beta_t$  que é necessário calibrar.

Visto que se trata de um ensaio só com corrente estacionária e sem ondas, fixou-se a altura de onda  $H$  em 0,001 m. A escolha deste valor para a altura de onda, aliada a um período de 1,44s teve como objetivo reduzir ao máximo o valor do campo de velocidades devido às ondas.

Para a calibração das condições de agitação do modelo realizaram-se ensaios só com ondas. O objetivo destes ensaios foi encontrar as condições de agitação (teoria de onda) no modelo numérico que produzissem um perfil de velocidades o mais semelhante possível ao do modelo físico para o ensaio #WMN.

Para gerar as condições de agitação foi utilizado o método do batedor numérico, que consiste em introduzir, na fronteira de entrada do domínio de

cálculo, o campo de velocidades horizontais e verticais e de elevação da superfície livre em cada instante de tempo e gerando assim um sistema de ondas monocromáticas unidirecional. As condições de agitação no canal foram definidas através de um programa no *software* MATLAB, no qual são introduzidas as características das ondas a simular: a altura, o período, a teoria de onda (Linear, Stokes, etc.) e a existência ou não de deriva de Stokes.

Adotou-se uma altura de onda em 0,120m, aliada a um período de 1,44s, tal como no modelo físico.

Para o estudo a interação entre ondas e corrente foram realizados dois ensaios, um com ondas no sentido da corrente (#CMP) e outro com ondas no sentido contrário á corrente (#CMN).

Para efetuar estes dois ensaios usaram-se os valores resultantes da calibração da velocidade da corrente (#SP) e das condições de agitação (#WMN).

As características dos ensaios cujos resultados mais se aproximaram aos do modelo físico estão resumidas na Tabela II.

Os perfis das velocidades médias horizontais na coordenada  $x=19,50\text{m}$  do canal numérico estão representados nas Figuras 1, 2, 3 e 4. Nas figuras os pontos azuis representam os resultados obtidos no modelo numérico e os pontos vermelhos os resultados obtidos no modelo físico.

Tabela II - Características dos ensaios efetuados no modelo numérico.

		#SP	#WMN	#CMP	#CMN
<b>Altura de onda <math>H</math></b>		0,001m	0,120m	0,120m	0,120m
<b>Período de onda <math>T</math></b>		1,44s	1,44s	1,44s	1,44s
<b>Velocidade da corrente <math>u</math></b>		0,27m/s	-	0,27m/s	-0,27m/s
<b>Teoria de onda</b>		-	Stokes II	Stokes II	Stokes II
<b>Deriva de Stokes</b>		-	Sim	Sim	Sim
<b>Meio poroso</b>	<b>Porosidade</b>	50%	50%	50%	50%
	<b><math>D_{50}</math></b>	0,04m	0,04m	0,04m	0,04m
<b><math>\beta_i</math></b>		10	-	10	10

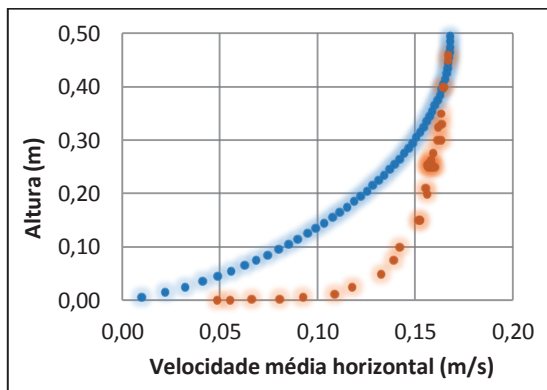


Fig. 1. Velocidade média horizontal para a coordenada  $x=19,50\text{m}$  (#SP).

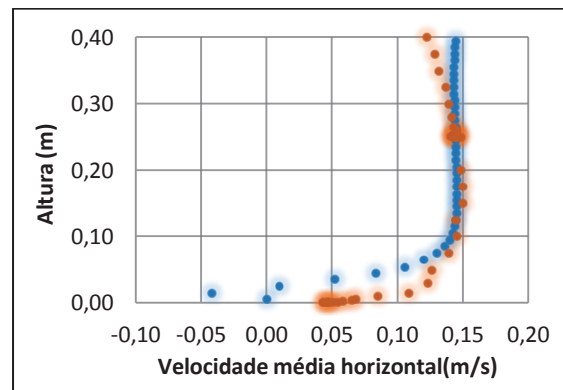


Fig. 3. Velocidade média horizontal para a coordenada  $x=19,50\text{m}$  (#CMP).

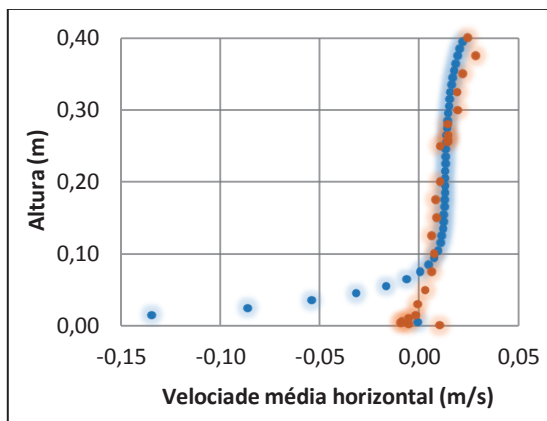


Fig. 2. Velocidade média horizontal para a coordenada  $x=19,50\text{m}$  (#WMN).

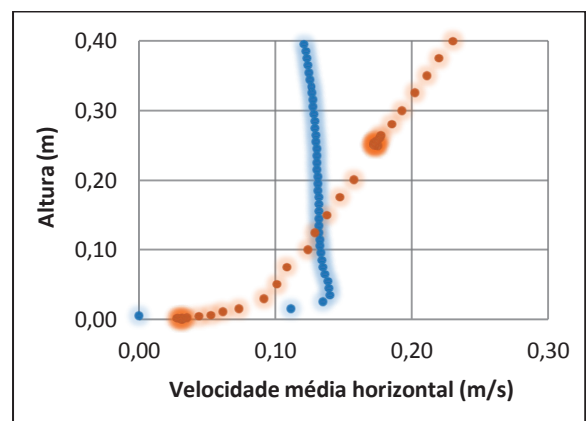


Fig. 4. Velocidade média horizontal para a coordenada  $x=19,50\text{m}$  (#CMN).



## 6. ANÁLISE DE RESULTADOS

No caso dos ensaios #SP, situação de apenas correntes no canal, verifica-se uma diferença entre os valores do modelo numérico e do modelo físico, especialmente junto ao fundo e a meio da coluna de água. Para alturas superiores a 0,4 m os valores aproximam-se bastante. Nos outros ensaios referentes a esta situação verificou-se que a mudança do parâmetro do modelo de fecho da turbulência não resulta numa melhoria da qualidade da simulação das velocidades médias.

No caso dos ensaios #WMN, em que apenas ondas estão presentes no canal, há um claro afastamento entre as simulações do modelo numérico e as observações obtidas no modelo físico entre o fundo e a altura 0,1 m, no que diz respeito à velocidade média horizontal. Acima deste valor a concordância entre as duas curvas é muito boa. O perfil da amplitude da velocidade média simulada com o modelo IH-2VOF mostra um andamento semelhante ao do perfil medido, apesar de apresentar valores menores em toda a coluna de água. Os ensaios nos quais não se usou camada porosa no fundo apresentam bons resultados para a velocidade média horizontal junto ao fundo mas diferenças significativas subsistem na parte superior da coluna de água. Também se pode concluir que o método de geração numérica da onda baseado na teoria de Stokes II, em comparação com a teoria linear, e a inclusão da correção da deriva de Stokes, produz resultados mais próximos aos do modelo físico.

No caso dos ensaios #CMP, de um campo de ondas a propagarem se na mesma direção da corrente, existe uma boa concordância em relação à velocidade média, na parte central, mas a diminuição da velocidade junto à superfície não é bem representada. A amplitude da velocidade média exibe um comportamento semelhante ao do modelo físico. A reprodução pelo modelo numérico da situação relativa à propagação de ondas e corrente em sentidos contrários (#CMN) não conduziu a resultados satisfatórios. A série temporal da superfície livre, indica um comportamento desajustado. O facto de existirem discrepâncias principalmente ao nível inferior da coluna líquida, leva a crer que a modelação da camada limite constituiu um fator negativo na simulação de ondas e correntes com o modelo IH-2VOF.

## 7. CONCLUSÕES

O principal objetivo deste estudo foi aplicar e testar o comportamento do modelo IH-2VOF num ambiente de coexistência de ondas e correntes. A disponibilidade de ensaios em modelo físico e as medições efetuadas por Klopman (1994) no canal de ondas e correntes (“Scheldegoot”) do Laboratório DELFT HYDRAULICS (atual DELTARES), motivou a aplicação de um modelo RANS para

simular os referidos testes laboratoriais. O modelo IH-2VOF não tinha sido previamente usado para este fim específico. Com efeito, o modelo foi desenvolvido, primordialmente, para ser aplicado no âmbito dos escoamentos associados a campos de ondas. A sua utilização no caso mais complexo descrito nos ensaios de Klopman (1994) exigiu a sua adaptação, em particular, a geração de uma corrente média através da introdução de um caudal pré definido.

De um modo geral, os resultados, considerando os vários tipos de escoamento, foram parcialmente satisfatórios. Todavia, persistiram ao longo dos ensaios discrepâncias, principalmente ao nível da parte inferior da coluna líquida. A variação de valores de diversos parâmetros livres do modelo, como a rugosidade do fundo, a introdução de uma camada porosa no fundo para simular o atrito, a parametrização do modelo de fecho da turbulência, o tipo de onda numérica gerada e o processo desta geração, não obviaram totalmente a estes desajustes. Com efeito, a utilização de um modelo de primeira ordem como o  $k-\varepsilon$  parece estar além das exigências representadas por escoamentos complexos como os ensaiados neste trabalho. Este aspeto necessita de ser confirmado e pode servir para futura investigação, assim como a correta representação da rugosidade de fundo.

## Agradecimentos

Este trabalho não seria possível sem a ajuda e os conhecimentos transmitidos pelo Professor António Alberto Pires Silva, que foram fundamentais para a sua realização. Estou também extremamente grato pela constante disponibilidade e paciência da Eng.<sup>a</sup> Maria da Graça Neves, que muito contribuiu para que este trabalho fosse possível.

Um agradecimento ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil que permitiu a minha presença no Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, tendo facilitado imenso todo o processo.

## REFERÊNCIAS

- Kemp, P., Simons, R. (1982). The Interaction between Waves and a Turbulent Current: Waves Propagating with the Current. *J. of Fluid Mechanics*, 116, 227-250.
- Kemp, P., Simons, R. (1982). The Interaction between Waves and a Turbulent Current: Waves Propagating with the Current. *J. of Fluid Mechanics*, 130, 73-89.
- Klopman, G. (1994), Vertical structure of the flow due to waves and currents, Delft Hydraulics.
- Lara J., Garcia, N., Losada, I. (2006). RANS modelling applied to random wave interaction with submerged permeable structures, *Coastal Eng.*, 53, 395-417.

# Influência e propagação no interior da Ria Formosa dos processos oceanográficos de mesoescala na costa sul de Portugal

J. Jacob<sup>(1)</sup>, N. Simões<sup>(1)</sup> e A. Cravo<sup>(1)</sup>

(1) Universidade do Algarve, CIMA, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal, jjacob@ualg.pt.

**Resumo:** A Ria Formosa é um sistema lagunar localizado na costa sul de Portugal, com seis barras de ligação permanente ao oceano. A barra de Faro-Olhão é a principal em termos de trocas de massas de água entre este sistema lagunar e o oceano. No âmbito do projeto COALA foram colocados dois sensores de pressão (PTs) para aquisição de dados de nível de mar e de temperatura, um à entrada da barra de Faro-Olhão e outro 6 km a montante, no cais comercial de Faro. As séries temporais de dados de nível do mar e de temperatura da água foram analisadas em conjunto com séries simultâneas de velocidade do vento. Foi detectada a influência no interior da Ria Formosa dos fenómenos de mesoescala no oceano costeiro adjacente, assim como de situações meteorológicas à escala sinóptica, e examinada a sua variabilidade ao longo de um ano de dados.

**Palavras-chave:** Ria Formosa, sensores de pressão (PTs), nível do mar, temperatura da água, parâmetros meteorológicos, processos oceânicos de mesoescala.

## 1. INTRODUÇÃO

A Ria Formosa é um sistema lagunar localizado na costa sul de Portugal, com cerca de 80 km<sup>2</sup>, 55 km de comprimento na direção E-W e 6 km de largura máxima. É um sistema sujeito a um regime meso-mareal com uma altura média das marés de aproximadamente 2 m, numa gama entre 1,5 m e 3,5 m, com predominância de marés semi-diurnas, bem misturado verticalmente, sem evidência de estratificação salina ou térmica devido à reduzida entrada de água doce e à predominância do efeito da maré na circulação da água no seu interior.

O conhecimento e a caracterização da hidrodinâmica da Ria Formosa, em particular a circulação da água no seu interior, as trocas com o oceano através das barras e a influência da maré são essenciais para se poder compreender a dinâmica dos nutrientes, clorofila-*a* e matéria em suspensão, tema de estudo do projeto *COALA - Nutrients and particulate matter dynamics - exchanges between a COAstral Lagoon and the adjacent ocean through a multiple inlet system: the case of Ria Formosa, south of Portugal*. A Ria Formosa tem seis ligações permanentes ao oceano, que permitem uma grande renovação de água e a propagação das condições oceânicas para o seu interior. A hidrodinâmica da Ria Formosa é influenciada e condicionada por um conjunto de factores oceânicos e atmosféricos de diversas escalas espaciais e temporais. De entre estes destaca-se a influência da maré como o forçamento mais importante (Salles *et al.*, 2005; Dias *et al.*, 2009; Pacheco *et al.*, 2010; e Jacob *et al.*, 2012 e 2013).

A uma escala superior, o ambiente no interior da Ria Formosa também é influenciado pelas condições ambientais de mesoescala características do oceano costeiro adjacente. Estas condições podem alternar entre o afloramento costeiro induzido por vento

predominante do quadrante oeste e uma contracorrente de água mais quente em sentido oposto, de leste para oeste, quando há relaxamento do vento de oeste. Esta corrente pode ser amplificada em condições de Levante, que é o vento característico predominante do quadrante leste. Os eventos de afloramento ao longo da costa sul de Portugal são frequentes e ocorrem principalmente entre Maio e Outubro, devido aos ventos predominantes de oeste. Estes parecem ser mais intensos do lado oeste da costa sul, desde o cabo de São Vicente até ao cabo de Santa Maria (Relvas e Barton, 2002). No entanto, podem estender-se ao longo de toda a costa sul de Portugal, sob a ação de ventos de oeste fortes e persistentes (García-Lafuente *et al.*, 2006), propagando-se mesmo para além da zona costeira do rio Guadiana (Cardeira *et al.*, 2013).

É natural que as condições ambientais no oceano costeiro adjacente à Ria Formosa se propagem para o seu interior em função da maré semidiurna e influenciem as condições aí observadas, embora não haja muitos estudos a este respeito. No entanto, podem-se referir alguns trabalhos sobre a influência do afloramento costeiro no interior da ria Formosa, como por exemplo Alcântara *et al.* (2012) e Cravo *et al.* (2014).

No Projecto *COALA* pretende-se estudar, em particular, a importância das trocas de massa entre a Ria Formosa e o oceano em função dos diversos forçamentos ambientais e das condições aí verificadas. Neste âmbito foram realizadas 17 campanhas observacionais de maré semidiurna, nas 3 barras do sector oeste da ria Formosa – a barra da Armona, a barra de Faro Olhão e a barra do Ancão. Estas campanhas foram enquadradas e acompanhadas pela colocação de sensores de pressão para medição do nível do mar e que permitiram igualmente registar a temperatura no

interior da ria. As medições de nível do mar e temperatura foram efetuadas ao longo de 2 anos, de Outubro de 2011 a Dezembro de 2013, embora com interrupções. Consequentemente, dispõe-se de duas séries de 2 meses de medições simultâneas em dois locais distintos da ria Formosa, e de uma série quase contínua de 14 meses, com duas lacunas, na barra de Faro-Olhão.

Neste trabalho apresentamos um estudo da variabilidade dos fenómenos do oceano costeiro de mesoscala e sua influência no interior da Ria Formosa, através do estudo das séries de nível do mar e de temperatura da água obtidas com os PT's, após remoção das componentes semi-diurna e diurna da maré.

## 2. MÉTODOS

O setor ocidental da Ria Formosa engloba as barras do Ancão, Faro-Olhão e Armona e diversos canais e esteiros (Fig. 1), onde aproximadamente 90% do volume total de água é trocado com o oceano ao longo de um ciclo de maré semi-diurna. A barra de Faro-Olhão é responsável por 60%-70% do prisma de maré (Pacheco *et al.*, 2010; Jacob *et al.*, 2013) e comunica com a cidade de Faro e com o porto 6 km a montante, através do canal de Faro (Fig. 1), e que por esta razão é o canal mais importante da ria Formosa.

Colocaram-se dois sensores de pressão (PT, Level TROLL) para aquisição de dados de nível do mar e de temperatura, um à entrada da barra de Faro-Olhão, no cais da ilha Deserta (CID, Fig. 1), e outro no cais comercial de Faro (CCF, Fig. 1), a uma profundidade de aproximadamente 3,0 m abaixo do nível médio do mar. Estas duas localizações estão sujeitas a condições ambientais distintas, uma (CID) está exposta às trocas diretas com o oceano, através de fenómenos de pequeno período como a ondulação, e a outra (CCF), no interior da Ria Formosa, encontra-se resguardada da influência direta dos fenómenos de pequeno período no oceano adjacente.



Fig. 1. Setor oeste da Ria Formosa e localização dos sensores de pressão: CCF – Cais comercial de Faro; CID – Cais da ilha Deserta.

Os períodos considerados foram (Tabela I): dois períodos de dois meses em que os dois PTs foram

colocados em simultâneo; e um período de 14 meses com duas interrupções, uma de 1,5 meses e outra de 15 dias em que se colocou apenas um PT na barra de Faro-Olhão (CID). Os dados foram registados com um intervalo de amostragem de 10 minutos, usando uma média linear de 60 valores, adquiridos durante 2 minutos com um intervalo de 2 s.

Tabela I. Períodos completos de aquisição de dados com os sensores de pressão (PT, Level TROLL).

Local	Início	Fim
Cais Comercial de Faro, Ilha Deserta	18-10-2011	14-12-2011
Cais Comercial de Faro, Ilha Deserta	17-03-2012	13-05-2012
	03-10-2012	16-12-2012
Ilha Deserta	29-1-2013	13-5-2013
	28-5-2013	21-12-2013

As séries temporais de dados de nível do mar e temperatura da água foram analisadas em conjunto com séries simultâneas de velocidade do vento da estação meteorológica do aeroporto de Faro. O tratamento e representação gráfica das séries temporais foi efectuado utilizando *scripts* desenvolvidos e implementados em MatLab. Para remover os sinais de alta frequência das séries temporais analisadas, foi utilizado um filtro Butterworth passa-baixas frequências: nas séries temporais de nível do mar e de temperatura da água utilizou-se uma frequência de corte  $f_c=(1/48)$  horas<sup>-1</sup> para remoção das componentes da maré semi-diurna e diurna, as mais importantes; e nas séries de vento utilizou-se uma frequência de corte  $f_c=(1/30)$  horas<sup>-1</sup> para representação gráfica e análise da variabilidade de larga escala no campo do vento.

Para complementar a análise dos dados e ajudar a entender a influência das massas de água oceânicas no interior da ria Formosa, utilizou-se imagens de satélite da temperatura da superfície do mar (TSM) na costa sul de Portugal. Foram usadas imagens compostas de 8 dias, de nível 3, provenientes do satélite *Modis-Aqua* (Oceancolor, NASA).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O registo de 14 meses de dados de nível do mar e de temperatura da água à entrada da ria Formosa, no CID, mesmo com duas interrupções, complementado com os dados de vento (Figura 2), permite identificar e caracterizar a ocorrência de uma série de eventos de mesoscala no oceano costeiro adjacente, associados a situações meteorológicas à escala sinóptica.

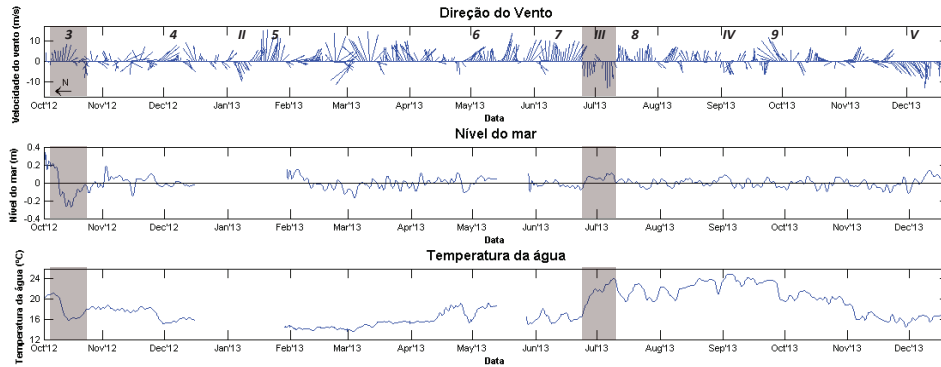


Fig. 2. Séries temporais de velocidade do vento no aeroporto de Faro e de nível do mar e temperatura da água na barra de Faro Olhão (CID), no período de 3-10-2012 a 21-12-2013; os eventos mais intensos estão a sombreado.

Por outro lado, os registos de dados dos PTs colocados em simultâneo no CID e no CCF, durante um período alargado, permite identificar a ocorrência de eventos de mesoscala no oceano adjacente (CID) e a sua influência e propagação no interior da ria (CCF). Este conjunto de dados, também complementados com o vento, estão representados na Figura 3, para os períodos de 2 meses no outono de 2011 (A) e na primavera de 2012 (B).

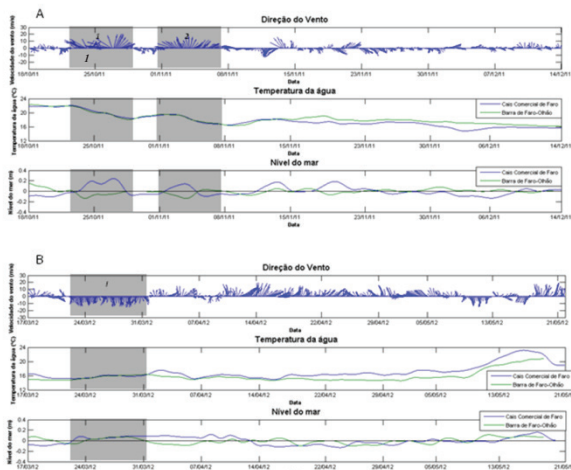


Fig. 3. Séries temporais de velocidade do vento no aeroporto de Faro e de nível do mar e temperatura da água na barra de Faro Olhão (CID) e no cais comercial de Faro (CCF), A - no período de 18-10-2011 a 14-12-2011 e B - no período de 17-3-2012 a 13-5-2012.

Na costa sul de Portugal foi evidente os dois tipos de eventos oceanográficos de mesoscala (Figuras 2-3). Foram identificados uma série de eventos oceanográficos de afloramento induzido pelo vento do quadrante oeste e de contracorrente associada a levante (Figuras 2-3; em numeração árabe para os afloramentos e em numeração romana para a contracorrente/levante; Tabela II). Na identificação destes eventos usou-se como critério o vento que se manteve de forma persistente durante pelo menos 3 dias seguidos do respetivo quadrante. Este critério foi estabelecido de forma a concordar com período referido no trabalho de Fiúza *et al.* (1982), em que o afloramento responde a ventos favoráveis de oeste

em 1-2,5 dias. Assim, foram identificados 9 eventos de afloramento costeiro e 5 eventos de contracorrente/levante. Os eventos II e 5, no inverno de 2013, são identificados com base apenas no vento, por ausência de dados dos PTs nesse período.

De entre os eventos identificados, selecionou-se o mais significativo de cada tipo e usaram-se imagens de satélite da temperatura da superfície do mar compostas, de 8 dias, durante esses eventos (Figura 4). Durante o evento de afloramento (Figura 4-A), confirma-se uma faixa costeira de água mais fria do que ao largo, que se estende ao longo de toda a costa sul, e se prolonga para norte na costa oeste. Durante a presença da contracorrente associada ao evento de levante (Figura 4-B), observa-se uma banda de água mais quente junto à costa, por recirculação proveniente da zona nordeste do Golfo de Cádiz. Esta estrutura desenvolve-se ao longo da costa sul, começando a desvanecer no sector oeste da costa sul, entre Lagos e Sagres.

Tabela II. Eventos oceanográficos de mesoscala identificados nos períodos amostrados.

Tipo	Identificação	Início	Fim
Afloramento	1	22/10/11	29/10/11
	2	01/11/11	08/11/11
	3	06/10/2012	25/10/2012
	4	26/11/2012	08/12/2012
	5	11/01/2013	28/01/2013
	6	25/04/2013	07/05/2013
	7	07/06/2013	21/06/2013
	8	10/07/2013	10/08/2013
	9	24/09/2013	08/10/2013
Levante	I	22/03/2012	01/04/2012
	II	02/01/2013	10/01/2013
	III	24/06/2013	09/07/2013
	IV	01/09/2013	08/09/2013
	V	22/11/2013	14/12/2013

Embora o número e duração dos períodos amostrados seja limitado e não permita obter resultados com validade estatística, observa-se uma maior regularidade na ocorrência de eventos de afloramento, que se distribuem ao longo do ano, mesmo no inverno, apesar de com menor frequência.



Assim, estes dados mostram que o afloramento na costa sul é mais frequente do que se poderia esperar, pois pode estender-se para lá do período referido como favorável à ocorrência de afloramento, entre a primavera e o outono, nos meses de Maio a Outubro. O fator determinante para esta ocorrência parece ser a persistência do vento do quadrante oeste. As Figuras 2-3 também mostram que estes eventos oceanográficos, associados às situações sinóticas atmosféricas, se manifestam tanto no campo da temperatura como no nível do mar: o afloramento está associado a abaixamento da temperatura da água e do nível do mar enquanto que no caso da contracorrente/levante se verifica o inverso, i.e., há um aumento da temperatura e do nível do mar. Além disso, confirma-se a influência das condições oceanográficas de mesoscala à entrada da ria e a sua propagação para o interior pela entrada através da barra, por efeito da maré, pelo menos a 6 km a montante do CID (Figuras 3-A e B).

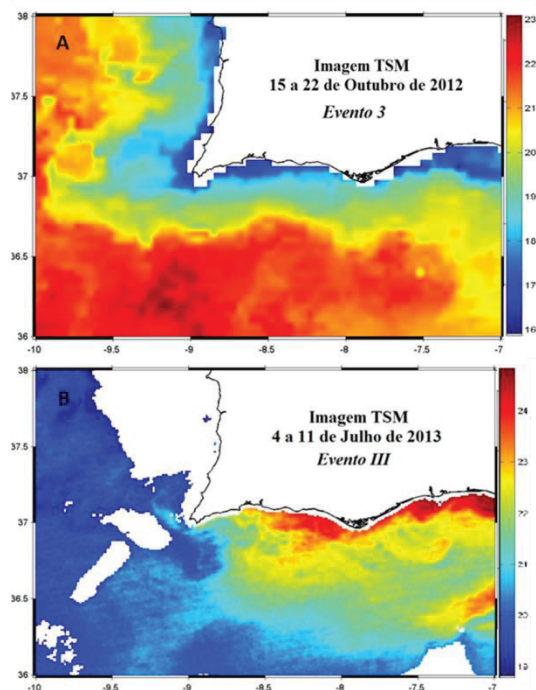


Fig. 5. Imagens SST (temperatura da superfície da água do mar) a representar eventos de upwelling (Evento I) e de Levante (Evento 2).

### Agradecimentos

Os autores agradecem às Dras. Delminda Moura da UAlg e Marta Rodrigues do LNEC, parceira do projeto COALA, o empréstimo dos PTs. Agradecem o apoio do António Brás, da Capitania do Porto de Faro na pessoa do Comandante Marques Ferreira e do Sr. Alves na colocação, manutenção e recolha do PT na ilha Deserta e do IPTM-Sul na escolha e autorização de utilização dos locais para colocar os 2 PTs, bem como na sua colocação e recuperação. Este trabalho foi suportado pela Fundação Para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através do projeto de investigação PTDC/MAR/114217/2009 - COALA.

### REFERÊNCIAS

- Alcântara, P., Cravo A., Jacob, J. (2012). Variability of nutrients and chlorophyll *a* in Ancão inlet during a spring tidal cycle in April 2009. *Ciencias Marinas* 30 (1B), 161-176.
- Cardeira, S., Rita, F., Relvas, P., Cravo, A. (2013). Chlorophyll *a* and chemical signatures during an upwelling event off the South Portuguese coast (SW Iberia). *Continental Shelf Research* 52, 133-149.
- Cravo, A., Cardeira, S., Pereira, C., Rosa, M., Alcântara, P., Madureira, M., Rita, F., Luís, J., Jacob, J. (2014). Exchanges of nutrients and chlorophyll *a* through two inlets of Ria Formosa, South of Portugal, during coastal upwelling events. *J. of Sea Research*.
- Dias J.M., Sousa M.C., Bertin X., Fortunato A.B. e Oliveira A. (2009). Numerical modeling of the impact of the Ancão Inlet relocation (Ria Formosa, Portugal). *Environmental Modelling & Software*, 24 (6), 711-725.
- Fiúza, A.F.G., Macedo, M.E., Guerreiro, M.R. (1982). Climatological space and time variation of the Portuguese coastal upwelling. *Oceanol. Acta* 5, 31-40.
- García-Lafuente, J., Delgado, J., Criado-Aldeanueva F., Bruno, M., Rio, J., Vargas, J.M. (2006). Water mass circulation on the continental shelf of the Gulf of Cádiz. *Deep-Sea Research II* 53, 1182-1197.
- Jacob, J., Cardeira, S., Rodrigues, M., Bruneau, N., Azevedo, A., Fortunato, A., Cravo, A. and Rosa, M. (2012). Contribuição para o estudo da propagação da maré no setor oeste da Ria Formosa. *2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica* (Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal), pp. 185-188.
- Jacob, J., Cardeira, S., Rodrigues, M., Bruneau, N., Azevedo, A., Fortunato, A.B., Rosa, M., Cravo, A. (2013). Experimental and numerical study of the hydrodynamics of the western sector of Ria Formosa. *J. of Coastal Research* 65, 2011-2016.
- Pacheco, A., Ferreira, Ó., Williams, J.J., Garel, E., Vila-Concejo, A. and Dias, J.A. (2010). Hydrodynamics and equilibrium of a multiple-inlet system. *Marine Geology*, 274, 32-42.
- Relvas, P. e Barton, E.D. (2002). Mesoscale patterns in the Cape São Vicente (Iberian Peninsula) upwelling region. *Journal of Geophysical Research* 107 (C10), 3164, 28 (1-23).
- Salles, P., Voulgaris, G. e Aubrey, D. (2005). Contribution of Nonlinear Mechanisms in the Persistence of Multiple Tidal Inlet Systems. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 65, 475-491.

# Validação de correntes marítimas de superfície medidas por um sistema de radares de alta frequência na zona sul da Península Ibérica

R. Vicente<sup>(1)</sup> e A. Martinho<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico. [pires.vicente@hidrografico.pt](mailto:pires.vicente@hidrografico.pt)

**Resumo:** A disponibilização das correntes marítimas geradas por sistemas HF assume particular relevo nas atividades desenvolvidas no mar, em especial na orla costeira e entradas de portos. A possibilidade de prever a deriva de objetos emersos com recurso a dados de corrente e vento à superfície é analisada neste trabalho.

São testadas várias hipóteses de combinação e correção dos parâmetros da corrente e do vento para estimar as derivas lagrangeanas de boias, lançadas para o efeito, no período de 10 a 12 de maio de 2013, numa área iluminada pelo sistema HF instalado no sul da Península Ibérica.

Pese embora a inexistência de uma ampla amostragem, o aperfeiçoamento verificado no método de análise simultânea de corrente e vento é surpreendente, constatando-se melhorias francas nos desvios entre os percursos verdadeiros e estimados, derivando-se uma função de transferência entre as trajetórias previstas e reais das boias.

**Palavras-chave:** Corrente de superfície, radar de alta frequência, antena HF, deteção remota, TRADE.

## 1. INTRODUÇÃO

A circulação geral e as correntes marítimas inserem-se no nível de ambição global do conhecimento oceânico. Os sistemas de radares de alta frequência (HF – *High Frequency*) geram informação acerca das correntes marítimas, direção do vento à superfície e agitação marítima (Graber e Heron, 1997), em áreas relativamente abrangentes e com observações de alta resolução em tempo quase real.

No âmbito do projecto TRADE (*Transregional Radars for Environmental applications*), financiado pelo Programa de Cooperação Transfronteiriça Espanha – Portugal, onde participam o Instituto Hidrográfico (IH), os *Puertos del Estado* e a *Universidad de Cádiz*, o sistema HF instalado, em funcionamento desde 2013, é composto por duas estações de radar em Mazagón (MAZA) e Vila Real de Santo António (VATR).

O presente trabalho alicerça-se no estudo realizado por Vicente (2014), visando validar as correntes marítimas geradas pelo sistema HF e derivar a função de transferência para obtenção dos vetores velocidade de três boias derivantes.

## 2. RECOLHA E TRATAMENTO DE DADOS

A Tabela I resume as principais características e especificações do sistema HF do TRADE.

Tabela I. Características e especificações dos radares HF utilizados no projeto TRADE (Portal CODAR, Portal IH)

PARÂMETRO	ESTAÇÃO HF	
ID do radar	VATR	MAZA
Posição (WGS 84)	37,18°N / 7,44°W	37,13°N / 6,83°W
Frequência central	12,923 MHz	13,5 MHz
Comp.onda Bragg	11,6 m	11,1 m
Resolução	angular: 5° / espacial: 1,4 km	
Alcance nominal	20 a 75 km	

A Figura 1 apresenta as trajetórias reais das três boias, do tipo iSphere ([www.metocean.com](http://www.metocean.com)), durante cerca de 45 horas de deriva na área de operação. As boias foram programadas para transmitir informação com uma frequência de 10 minutos.



Figura 1. Trajetórias reais das boias derivantes na região de interesse (implantado em Google Earth, 2013)

No tratamento de dados, diversas posições geográficas são alvo de conversões de e para o sistema UTM. “Sendo uma projeção cartográfica uma função biunívoca, não existe degradação no cálculo da posição quando se utiliza a mesma projeção na conversão de coordenadas geográficas (WGS84) em retangulares UTM e vice-versa” (P. Sanches, comunicação pessoal, 2013). Os cálculos sobre o elipsoide e as conversões de coordenadas são efetuados com base no formulário de Vincenty (1975).

### 2.1. Análise de dados de corrente radial

As correntes radiais lidas em cada estação HF são comparadas com as correntes derivadas diretamente do percurso das três boias. De forma a comparar os dados radiais HF com a componente da velocidade radial de cada boia em cada posição procede-se como em Paduan *et al.* (2006), projetando-se o vetor

velocidade da boia,  $\vec{U}$ , na direção da antena HF,  $\vec{r}$ , através do produto interno expresso na Equação 1.

$$\text{velocidade radial boia} = \frac{\vec{r} \cdot \vec{U}}{|\vec{r}|} \quad (1)$$

Os pares de dados boia-HF são interpolados para cada hora. Os dados horários do sistema HF provêm de leituras efetuadas durante 74 minutos, sendo 37,5 minutos antes e 37,5 minutos depois da hora. De forma similar, sabendo que a frequência de leitura de dados de posição das boias é de 10 minutos, efetua-se a média de sete posições da boia, no intervalo 30 minutos antes a 30 minutos após a hora.

A análise estatística é realizada para cada par de observações horárias da velocidade do radar e da projeção da velocidade da boia na direção da antena. São utilizadas as funções: regressão linear, coeficiente de correlação, coeficiente de determinação e erro padrão (RMS -*root mean square*)

### 2.2. Análise de dados de corrente total

As correntes totais geradas pelo sistema HF são confrontadas com os dados das boias derivantes através da comparação das velocidades e direções. Os pontos da malha HF em cada hora são interpolados para as posições horárias das boias.

### 2.3. Análise de dados de vento

Os dados de vento à superfície utilizados neste projeto provêm do modelo de previsão numérica do tempo de área limitada e resolução horizontal de 2,5 km, designado AROME. Este modelo utiliza as previsões do ALADIN operacional como condições iniciais/fronteira ([www.ipma.pt](http://www.ipma.pt)). As componentes da velocidade do vento são interpoladas para a hora e posição das boias.

### 2.4. Análise de dados de vento e corrente simultaneamente

A análise simultânea dos dados de vento e de corrente permite obter informação acerca da influência combinada destes dois elementos na boia derivante.

É efetuado o cálculo das trajetórias das boias, a partir da posição inicial verdadeira, caso estivessem sujeitas à corrente lida pelos sensores HF e ao vento do modelo AROME.

### 2.5. Método de previsão de trajetórias

É utilizado o método de Runge-Kutta de 2ª ordem para prever as posições horárias da boia, de forma iterativa e com recurso a multi-posições (Ferziger e Peric, 1999).

No cálculo de cada posição são introduzidas variáveis de correção da intensidade da corrente,  $\kappa_1$ , e de correção da direção da corrente,  $\theta_1$ . De igual forma, o vento é sujeito a uma correção de

intensidade,  $\kappa_2$ , e de direção,  $\theta_2$ . Os coeficientes são multiplicados às velocidades e os ângulos somados às direções para obter as componentes  $u$  e  $v$  da velocidade da boia.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Estatística dos Radiais

O diagrama de dispersão da Figura 2 compara a velocidade radial da estação HF de MAZA com a velocidade projetada na direção da antena de todas as boias derivantes, totalizando 129 observações. O sinal da velocidade está relacionado com o sentido na radial, sendo positivo para as velocidades que se aproximam e negativo para as que se afastam da antena HF. A regressão linear, indica um declive de 0,59 e a interseção no eixo dos yy em -2,45 cm/s. O coeficiente de determinação,  $r^2$ , tem um valor de 80% indicando como a reta de regressão linear (segmento vermelho) se ajusta aos dados. O segmento a negro representa o que seria a reta ótima de ajustamento.

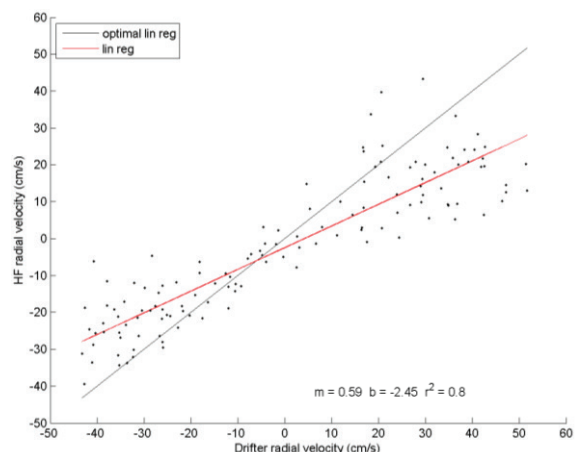


Figura 2. Diagrama de dispersão e regressão linear das velocidades radiais (cm/s) HF de MAZA vs boias n°1, n°2 e n°3. O segmento a negro representa a reta de regressão linear ótima e o segmento a vermelho a melhor reta ajustada aos dados

A Figura 3 apresenta, em baixo, um gráfico de barras indicador da quantidade de observações por cada setor azimutal, exprimindo a direção verdadeira a partir da antena radar. Para a estação HF MAZA os setores são espaçados de 5°. O total de observações da velocidade radial HF versus velocidade das boias é 129. Em cima, o RMS tem um valor médio de 14,73 cm/s e o coeficiente de correlação tem um valor médio de 89%. Na generalidade, verifica-se que nos setores azimutais onde o erro aumenta a correlação entre as velocidades diminui e vice-versa.

Para a estação de VATR os resultados alcançados apresentam uma reta de regressão linear com declive de 0,57 e interseção em 3,72 cm/s. O coeficiente de determinação tem um valor de 47%, o coeficiente de correlação resulta em 68% e o RMS em 21,3 cm/s, para um total de 129 observações.

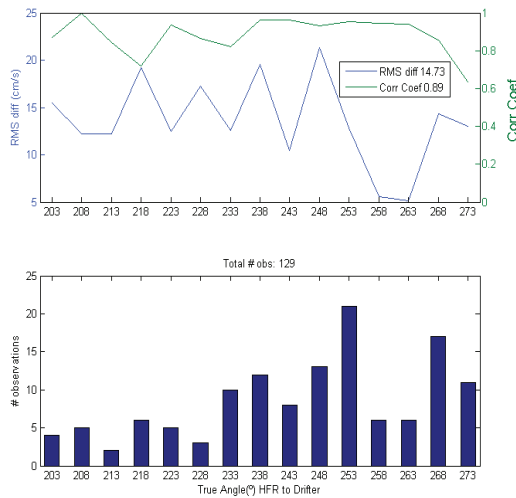


Figura 3. Em cima) o coeficiente de correlação a verde e o RMS a azul, distribuídos por setor azimutal da estação HF MAZA. Em baixo) gráfico de barras indicando o número de observações por setor azimutal.

### 3.2. Análise de trajetórias

Efetua-se a análise das trajetórias através da comparação entre os trajetos reais das boias e as trajetórias estimadas com recurso a diferentes métodos. Inicialmente utilizam-se métodos isolados de estimação da trajetória com recurso à correção conjugada da corrente e à correção conjugada do vento. Posteriormente, efetua-se a avaliação das trajetórias considerando simultaneamente a corrente e o vento.

#### 3.2.1. Previsão isolada da trajetória

A Figura 4 mostra os resultados obtidos com o método isolado de correção conjugada da corrente e correção conjugada do vento. De forma a minimizar

a média dos desvios em distância entre o trajeto estimado e o verdadeiro, a velocidade da corrente é corrigida de  $\kappa_1 = 1,75$  e a direção é corrigida de  $\theta_1 = -8^\circ$ , sendo o RMS = 2,24 km. A correção da intensidade do vento é  $\kappa_2 = 0,041$  e da direção é  $\theta_2 = -3^\circ$  obtendo-se o RMS = 3,34 km.

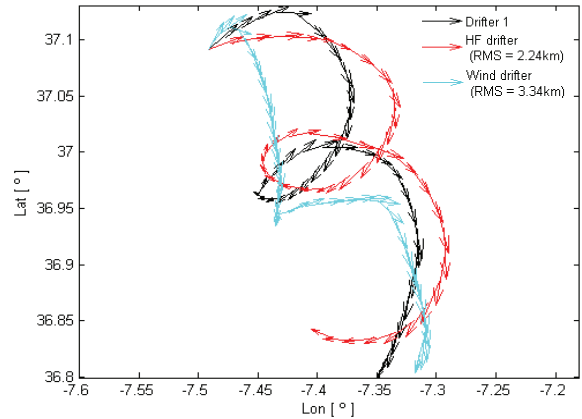


Figura 4. Previsões isoladas de trajetórias com o vetor corrente (vermelho) corrigido de  $\kappa_1 = 1,75$  e  $\theta_1 = -8^\circ$  e com o vetor vento (cyan) corrigido de  $\kappa_2 = 0,041$  e  $\theta_2 = -3^\circ$ . Trajetória real da boia n°1 a negro

#### 3.2.2. Previsão simultânea da trajetória

A partir da matriz dos desvios médios, entre as posições real e estimada da boia ao longo da trajetória, obtêm-se os valores ótimos de  $\kappa_1$ ,  $\theta_1$ ,  $\kappa_2$  e  $\theta_2$  para o menor desvio. Os mapas de pseudo-cores da

Figura 5 são obtidos a partir da tabela de desvios 4-D, fixando duas das quatro variáveis na área correspondente ao menor desvio médio ao longo da trajetória da boia n°1.

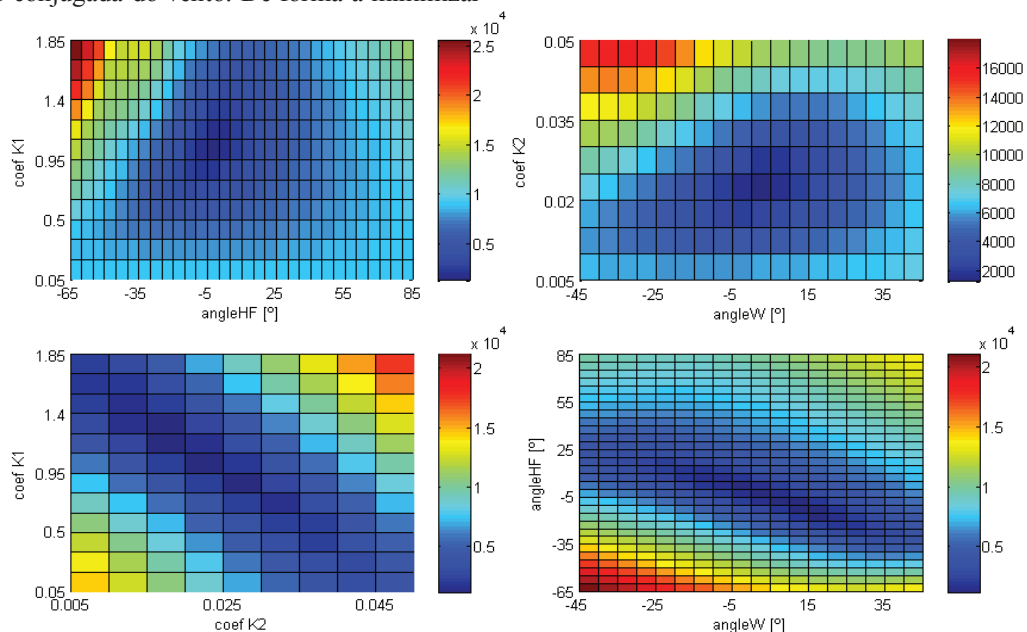


Figura 5. Desvio médio entre posições da boia n°1 ao longo da trajetória estimada, para a área de menor desvio, com correções  $\kappa_1 = 0,95$ ,  $\theta_1 = -6^\circ$ ,  $\kappa_2 = 0,021$  e  $\theta_2 = 2^\circ$ . Barra de cores em metros



Com o intuito de obter uma função de transferência para o universo dos dados, minimiza-se o RMS para o conjunto das três boias, aumentando a significância estatística e determinando os melhores coeficientes comuns. Assim, a soma dos menores RMS é 5,2 km correspondendo aos coeficientes  $\kappa_1 = 0,58$ ,  $\theta_1 = -18^\circ$ ,  $\kappa_2 = 0,033$  e  $\theta_2 = 6^\circ$ . A Figura 6 mostra o percurso estimado para as melhores correções encontradas para o conjunto das boias.

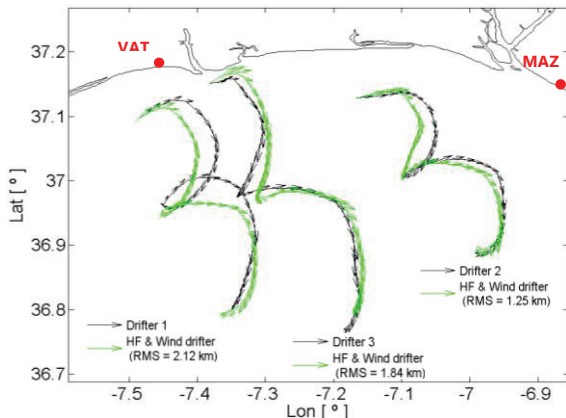


Figura 6. Previsão de trajetórias corrigidas simultaneamente com dados de corrente e vento (verde) e trajetórias reais das boias n°1, n°2 e n°3 (negro) e respectivos RMS

A Tabela II compara os métodos isolados e simultâneos de correção, resumindo os  $\kappa_1$ ,  $\theta_1$ ,  $\kappa_2$  e  $\theta_2$ , encontrados em cada trajetória, assim como os menores desvios médios ao longo das trajetórias das três boias, expresso em quilómetros na coluna RMS. A última linha expõe os melhores coeficientes comuns a utilizar na função de transferência.

Tabela II. Comparação dos menores RMS para os métodos de correção de corrente e de vento aplicados nas trajetórias das boias

Método	Boias	Coef. corrente	Ângulo corrente	Coef. vento	Ângulo vento	RMS (km)
		$\kappa_1$	$\theta_1$ (°)	$\kappa_2$	$\theta_2$ (°)	
correção conjugada da corrente	1	1,75	-8	--	--	2,24
	2	2,06	-35	--	--	2,15
	3	1,93	-13	--	--	2,07
correção conjugada do vento	1	--	--	0,041	-3	3,34
	2	--	--	0,041	12	1,77
	3	--	--	0,052	6	1,62
correção simultânea da corrente e do vento	1	0,95	-6	0,021	2	1,18
	2	1,02	-17	0,029	-4	1,08
	3	1,05	-15	0,022	10	1,46
	1, 2, 3	0,58	-18	0,033	6	5,2

#### 4. DISCUSSÃO

O estudo realizado permite derivar uma função de transferência onde são dados, simultaneamente, a corrente medida por um sistema HF e o vento à superfície do mar, para obtenção da deriva de uma boia do tipo iSphere. No entanto, não é alcançado,

com clareza, um grau satisfatório de validação das correntes oceânicas de superfície medidas pelo sistema HF, face à relevante influência do vento na área emersa da boia. Nas Equações 2 e 3,  $u$  e  $v$  expressam as componentes da velocidade da boia e  $U_{hf}$ ,  $D_{hf}$ ,  $U_w$  e  $D_w$  as intensidades e direções da corrente e do vento, respetivamente.

$$u = 0,58 U_{hf} \cos(D_{hf} - 18) + 0,033 U_w \cos(D_w + 6) \quad (2)$$

$$v = 0,58 U_{hf} \sin(D_{hf} - 18) + 0,033 U_w \sin(D_w + 6) \quad (3)$$

A análise dos vetores radiais revela-se mais consistente na comparação dos dados entre a estação HF MAZA e o conjunto das boias, com uma correlação de 89%, do que a comparação análoga da estação HF VATR com uma correlação de 68%.

O método de prever as trajetórias das boias com recurso à análise simultânea da corrente e do vento evidencia um aperfeiçoamento franco na previsão das trajetórias corrigidas face aos resultados obtidos nos métodos de análise isolada (Tabela II).

Recomenda-se a elaboração de trabalhos afins com maior amostragem e mais diversidade de condições mete-oceanográficas. A utilização de uma boia com lastro ou menos suscetível ao vento trará menor enviesamento na validação das correntes marítimas medidas pelos sistemas HF.

#### Agradecimentos

Aos preciosos contributos de Paulo Pinto, Ilmer Golde, Jeffrey Paduan, Carlos Fernandes, Pedro Agostinho, Paula Sanches e Cristina Monteiro.

#### REFERÊNCIAS

- Graber, H. C. e M. L. Heron, (1997). Wave height measurements from HF radar. *Oceanography*, Vol. 10, nº 2.
- Ferziger, J.H. & M. Peric. (1999). *Computational Methods for Fluid Dynamics*, (2nd edition), Spinger, Berlin, pp.132 e 133.
- Paduan, J.D., K.C. Kim, M.S. Cook, e F.P. Chavez, (2006). Calibration and validation of direction-finding high frequency radar ocean surface current observations. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, pp. 862-875.
- Vicente, R. (2014). *Validação de correntes marítimas de superfície geradas por um sistema de radares de alta frequência com recurso a boias derivantes*, (Relatório final de estágio), Instituto Hidrográfico, Lisboa.
- Vincenty, T. (1975). Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the Ellipsoid with Application of Nested Equations, *Survey Review*, vol. XXIII, nº 176, pp. 88-93. Disponível em : [http://www.ngs.noaa.gov/PUBS\\_LIB/inverse.pdf](http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/inverse.pdf) (acedido em Dezembro, 2013).

# Sobre as diferenças da agitação marítima ao largo de Sines e Figueira da Foz

F. Sancho <sup>(1)</sup>

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC); fsancho@lnec.pt

**Resumo:** Apresentam-se os climas de agitação marítima ao largo da Figueira da Foz e de Sines, estimadas a partir de modelos, e analisa-se em detalhe as diferenças entre os mesmos, deduzindo-se sobre a sua variabilidade temporal (sazonal). Mostram-se as relações encontradas entre os parâmetros representativos da agitação marítima mais frequentes e as relações entre as diferenças dos valores médios da agitação marítima nesses locais e a Oscilação do Atlântico Norte.

**Palavras-chave:** Agitação marítima, *North Atlantic Oscillation* (NAO), Sines, Figueira da Foz, *hindcast*

## 1. INTRODUÇÃO

A variabilidade da agitação marítima ao longo da costa ocidental portuguesa está documentada em alguns trabalhos, quer com base em dados de boias-ondógrafo (e.g., Costa *et al.*, 2001) quer com base em resultados de reconstituição (*hindcast*) do clima marítimo (e.g., Dodet *et al.*, 2010). No entanto, os resultados obtidos pelos primeiros são limitados pela densidade espacial das boias-ondógrafo, inexistentes entre o largo da Figueira da Foz e de Sines (com exceção da boia-ondógrafo da APL, na entrada do porto de Lisboa, e de um reduzido número de anos com dados ao largo da Nazaré). Quanto aos segundos autores, os mesmos exploram a variabilidade da agitação marítima em todo o oceano Atlântico nordeste, a uma escala muito maior que a relevante para a costa Portuguesa.

Por outro lado, Coli *et al.* (2003) concluem que não se pode atribuir um largo único para a costa oeste Portuguesa, devendo ser tratadas as regiões norte e sul separadamente, algures entre a Figueira da Foz e Sines. Estes autores apuram ainda que “o largo” entre Leixões e a Figueira da Foz pode ser considerado mesmo, i.e., existe pouca variabilidade da agitação marítima entre estas localizações, em particular para a altura de onda significativa.

Assim, o presente artigo explora a variação da agitação marítima ao largo da Figueira da Foz e Sines.

## 2. DADOS DE BASE E METODOLOGIA

Existe atualmente uma razoável variedade de séries de dados de agitação marítima ao largo da costa portuguesa, distinguindo-se primariamente em dados de boias-ondógrafo (ex., Costa *et al.*, 2003) e dados de reconstituição (*hindcast*) (ex., Rusu *et al.*, 2008; Dodet *et al.*, 2010; Dee *et al.*, 2011). Optou-se neste trabalho pela utilização de dados do segundo grupo, por, por um lado, estarem disponíveis para livre utilização e, por outro, por constituírem séries de maior duração, mais apropriadas para o presente objetivo.

Tendo em atenção a qualidade dos diversos resultados da validação dos modelos de reconstituição para a costa ocidental portuguesa, selecionou-se para análise a série temporal de 56 anos de dados de agitação marítima (a cada 6hr, entre 19530101 e 20081231), produzida por Dodet *et al.* (2010) ao largo de Sines (designado doravante por SINES) e da Figueira da Foz (designado doravante por FFOZ), nomeadamente, nos pontos de coordenadas (10W, 37.5N) e (10W, 40N), respetivamente (Fig. 1). De acordo com os autores, para essas localizações o erro quadrático médio (RMS) para Hs foi de 0.4 e 0.45 m, correspondendo a uma subestima média (viés) de 0.26 e 0.14 m.



Fig. 1. Localização dos pontos com dados de agitação marítima.

A metodologia utilizada compreende a elaboração de histogramas de frequência de ocorrência para as séries de altura de onda significativa, Hs, período médio, Tm, (determinado através do momento espectral de 1.<sup>a</sup> ordem), e direção média da agitação marítima, Dir. Determinaram-se também as séries temporais resultantes das diferenças entre estas variáveis nas localizações FFOZ e SINES e aplicaram-se métodos de correlação linear.

Relativamente à variável Dir, a média é determinada pela expressão:

$$\langle Dir \rangle = \arctan \left( \frac{\langle \sin Dir \rangle}{\langle \cos Dir \rangle} \right)$$

sendo o desvio padrão determinado pelo método de Yamartino (1984).

A metodologia compreende ainda aplicação da análise de Fourier a uma série de diferenças de altura de onda.

### 3. CLIMAS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA

A Fig. 2 ilustra as diferenças entre os regimes médios de agitação marítima, estimados para os dois locais. Para valores de Hs mais elevados, observa-se um ligeiro aumento da frequência de ocorrência na FFOZ relativa à estimada em SINES. Naturalmente, para valores de Hs mais pequenos, ocorre o oposto, sendo que a classe de Hs “charneira” é  $2.0 < Hs < 2.5$  m. Relativamente ao período médio, Tm, observa-se uma predominância dos períodos maiores para FFOZ, em relação à localização SINES. Relativamente à direção média, Dir, obtém-se em SINES um regime mais rodado para Norte do que em FFOZ (Fig. 3).

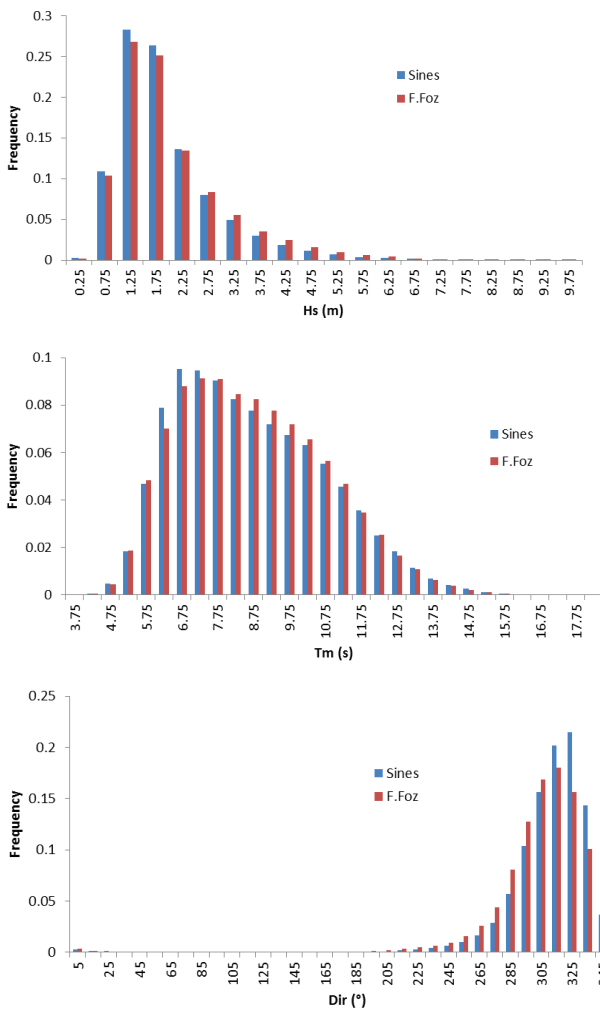


Fig. 2. Histogramas de Hs, Tp e Dir.

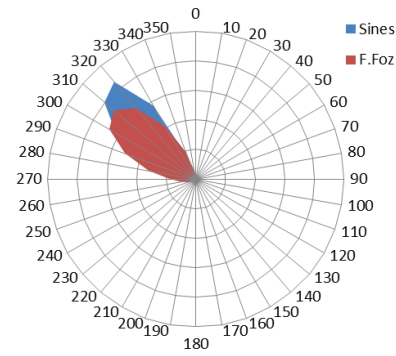


Fig. 3. Diagrama polar de Dir.

Tabela.I. Médias e desvios padrão das séries de valores de Hs, Tm e Dir e das suas diferenças ( $\Delta$ ).

		Hs (m)	Tm (s)	Dir (°)
Média	FFOZ	2.029	8.723	308.6
	Sines	1.929	8.693	313.1
	$\Delta$	0.100	0.030	-4.7
Desvio padrão	FFOZ	1.108	2.036	25.6
	Sines	1.004	2.075	22.4
	$\Delta$	0.342	0.692	11.3

A Tabela I apresenta os valores médios e desvios padrão das séries completas dos valores de Hs, Tm e Dir nas duas localizações, e das séries das respetivas diferenças entre FFOZ e SINES. Como é conhecido, a agitação marítima média em FFOZ é mais energética que em SINES. Relativamente à direção média da agitação marítima, atente-se nos seguintes resultados: em SINES e em FFOZ obtém-se  $\langle Dir \rangle$  igual a  $313^\circ$  e  $308^\circ$ , respetivamente. Ou seja, a agitação é em média mais rodada de  $4,7^\circ$  para norte em SINES do que em FFOZ. Esta diferença é facilmente explicada tendo em atenção a dominância do “anti-ciclone dos Açores” sobre o oceano Atlântico e sobre os ventos e conseqüente agitação marítima dominantes.

Procurou-se analisar se existe alguma variação sazonal cíclica entre a agitação marítima em FFOZ e em SINES. A Fig. 4 mostra que, em média, a altura de onda, Hs, em FFOZ é superior aquela estimada em SINES. Esta diferença é mais acentuada no inverno marítimo (outubro a março), atingindo valores médios da ordem de 0,2 m em janeiro, enquanto no verão marítimo (abril a setembro) a diferença é inferior à média anual (igual a 0,10 m). Relativamente ao período de onda médio, Tm, observa-se um comportamento sazonal inverso, i.e., no inverno marítimo as médias mensais de Tm são muito iguais nas duas localizações, enquanto no verão marítimo Tm é maior em FFOZ do que em SINES.

A Fig. 4 evidencia ainda que a rotação da Direção da agitação marítima (de FFOZ para SINES) é sensivelmente uniforme ao longo do ano, com exceção dos meses de abril (em que há menor

diferença entre as direções médias mensais) e de dezembro a fevereiro (quando ocorre maior diferença da direção mensal média da agitação marítima). Ou seja, nos meses de inverno (dez-fev) acentua-se ligeiramente a diferença de Dir nos dois locais.

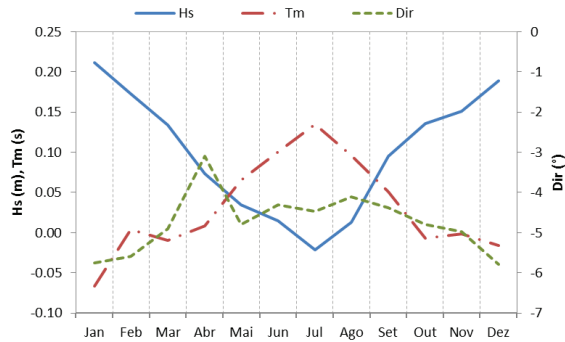


Fig. 4. Variação das médias mensais das diferenças entre Hs, Tm e Dir, em SINES e em FFOZ.

#### 4. RELAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA COM A OSCILAÇÃO DO ATLÂNTICO NORTE

No trabalho seguinte, foca-se a análise nas diferenças nos valores de Hs e de Dir. A Fig. 5 ilustra que, apesar das diferenças entre valores estimados de Hs e Dir, em SINES e em FFOZ, existe uma muito boa correlação destas variáveis para estes locais. Em particular, obtém-se um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0.91 para Hs e igual a 0.72 para Dir. Admitindo válidas as regressões lineares entre estas variáveis, as expressões indicadas naquela figura permitiriam determinar os valores numa localização a partir dos dados na outra.

Observou-se que a série  $\Delta Hs = Hs_{FFOZ} - Hs_{SINES}$  (Fig. 6) apresenta um comportamento oscilatório com período precisamente igual a 1 ano. Efetivamente, o espectro de variância da referida série revela um pico na frequência correspondente (Fig. 7). Tal leva a suspeitar sobre a existência de uma variabilidade anual entre Hs em FFOZ e em SINES, possivelmente associada a variações anuais climatológicas.

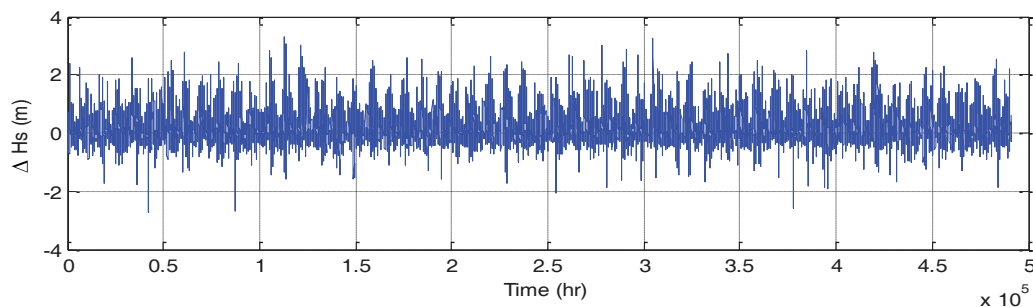


Fig. 6. Variação temporal de  $\Delta Hs$ .

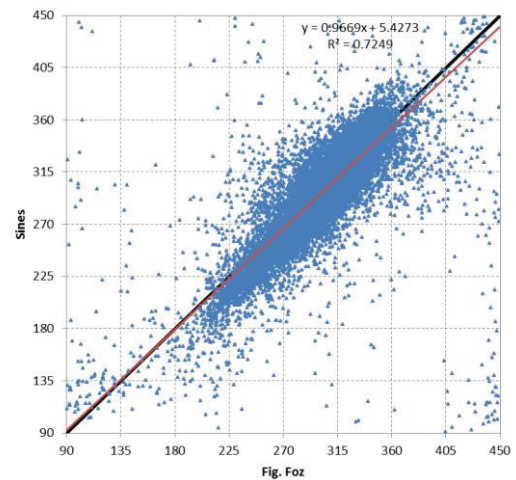
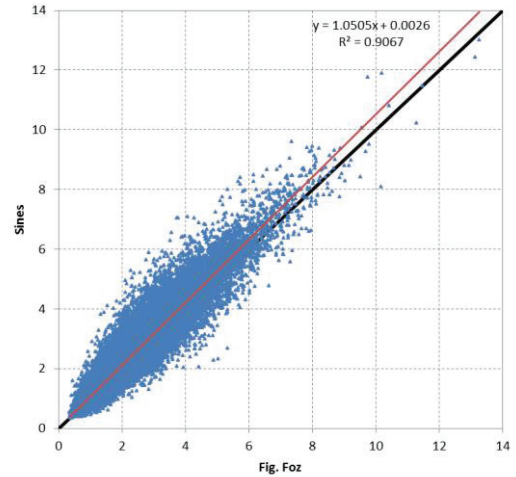


Fig. 5. Diagramas de dispersão de Hs (painel superior) e Dir (painel inferior): SINES vs. FFOZ. A vermelha representam-se as retas obtidas por regressão linear (Note-se que, para efeitos de visualização, se optou por representar a variável Dir no intervalo [90,450]).

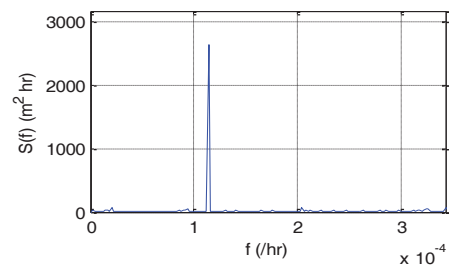


Fig. 7. Espectro de variância de  $\Delta Hs$ .



Tendo em consideração a constatação de uma periodicidade anual em  $\Delta H_s$  e que Dodet *et al.* (2010) encontraram no Atlântico Nordeste regiões com elevada correlação (positiva ou negativa) entre a altura de onda significativa acima do percentil 90,  $H_{s90}$ , e a Oscilação do Atlântico Norte, NAO (na terminologia anglo-saxónica), procurou-se neste trabalho observar a relação entre  $\Delta H_s$  e a NAO. Para o efeito, apresenta-se na Fig. 8 a variação temporal dos valores médios anuais de  $\Delta H_s$ ,  $\Delta Dir$  ( $=Dir_{FFOZ}-Dir_{SINES}$ ) e de dois índices NAO (NAO1, obtida através da análise de componentes principais, NCAR, 2014; e NAO2, obtida a partir de dados de estações meteorológicas, Hurrell *et al.*, 2013), todos normalizados pelo máximo valor da série correspondente. Esta figura não permite identificar nenhuma correlação significativa entre  $\Delta H_s$  ou  $\Delta Dir$  e os índices NAO. No entanto, o melhor coeficiente de correlação que se obteve foi  $R=0.45$ , entre  $\Delta H_s$  e a NAO2, confirmando a existência de uma correlação apreciável entre estas duas variáveis. Para  $\Delta Dir$  obtiveram-se coeficientes de correlação com NAO1 e NAO2 da ordem de 0.1, indicando muito fraca correlação.

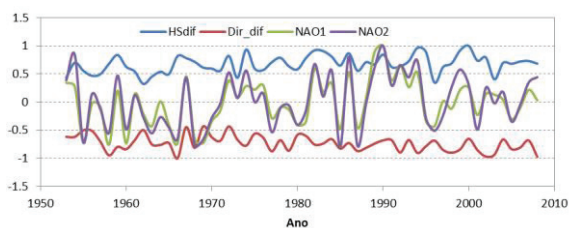


Fig. 8. Variação temporal dos valores médios anuais de  $\Delta H_s$ ,  $\Delta Dir$  e NAO.

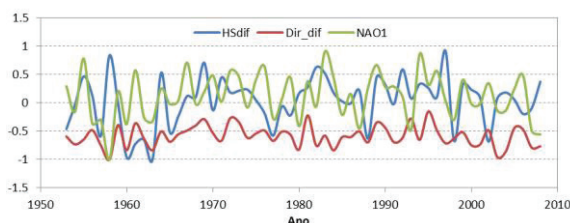


Fig. 9. Variação temporal dos valores médios, nos meses de junho, julho e agosto, de  $\Delta H_s$ ,  $\Delta Dir$  e NAO.

No entanto, encontraram-se também correlações positivas significativas entre os valores médios do verão (considerado aqui como a média dos meses de junho, julho e agosto) de  $\Delta Dir$  e NAO1 (Fig. 9), todos normalizados como anteriormente. Neste caso, obteve-se  $R=0.49$  entre aquelas duas variáveis.

Ao contrário de Dodet *et al.* (2010), para os meses de inverno as correlações encontradas foram todas muito fracas.

## 5. CONCLUSÃO

Observa-se existir uma apreciável correlação entre o índice NAO anual e a diferença média anual de  $H_s$  em FFOZ e em SINES, bem como semelhante

correlação entre o índice NAO de verão e a diferença média no verão entre  $Dir$  em FFOZ e em SINES. Ou seja, a variabilidade da diferença anual de  $H_s$  correlaciona-se positivamente com a NAO anual, enquanto a diferença entre a direção da agitação marítima é bem marcada no verão e depende da NAO nesse período.

## REFERÊNCIAS

- Costa, M., Silva, R., Vitorino, J. (2001). Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa Portuguesa. 2as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Associação Internacional de Navegação, PIANC-AIPCN Portuguesa, 20 pp., publicado em CD.
- Costa, M., Baptista, R., Rusu, L. (2003). 20 anos de dados de agitação marítima na costa Portuguesa. 3as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Associação Internacional de Navegação, PIANC-AIPCN Portuguesa, 16 pp., publicado em CD.
- Dee *et al.* (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137: 553–597, April 2011 A.
- Dodet, G., Bertin, X., Tabora, R. (2010). Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades. *Ocean Modelling*, Vol, 31, Issues 3–4, pp. 120-131, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2009.10.010>.
- Hurrell, J. & National Center for Atmospheric Research Staff (Eds) (2013). The Climate Data Guide: Hurrell North Atlantic Oscillation (NAO) Index (station-based). Last modified 02 Dec 2013. <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based>.
- National Center for Atmospheric Research Staff (Eds) (2014). "The Climate Data Guide: Hurrell North Atlantic Oscillation (NAO) Index (PC-based)." Last modified 16 Apr 2014. <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-pc-based>.
- Rusu, L., Pilar, P., Guedes Soares, C. (2008). Hindcast of the wave conditions along the west Iberian coast. *Coastal Engineering*, 55, 906–919.
- Yamartino, R.J. (1984). A comparison of several "single-pass" estimators of the standard deviation of wind direction. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 1362-1366.

# Análise do desempenho do modelo SWAN na zona da Costa da Caparica

R. Capitão<sup>(1)</sup>, C. Fortes<sup>(1)</sup>, P. Poseiro<sup>(1)</sup> e P. Raposeiro<sup>(2)</sup>

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). [rcapitao@lnec.pt](mailto:rcapitao@lnec.pt)

(2) Centro de Investigação em Ambiente e Sustentabilidade – Universidade Nova de Lisboa –

**Resumo:** O sistema HIDRALERTA é um sistema de previsão e alerta de risco de galgamento e inundações em áreas costeiras e portuárias, atualmente em desenvolvimento. Para obtenção das condições de agitação marítima locais são utilizados modelos numéricos de propagação de ondas, nomeadamente o modelo SWAN. Este trabalho visa contribuir para uma melhor compreensão das características da agitação marítima local num dos casos de estudo considerados no projeto: a praia de S. João de Caparica. Assim, utilizaram-se os dados recolhidos em duas campanhas de medição naquela zona, os quais foram depois analisados e comparados com os resultados obtidos pelo modelo SWAN para o mesmo local. Foi ainda feita a comparação entre os dados fornecidos pela boia da APL e o modelo SWAN, no local da boia. Estes procedimentos permitiram avaliar o desempenho do modelo SWAN para este local.

**Palavras-chave:** sistema de previsão e alerta, agitação marítima, SWAN.

## 1. INTRODUÇÃO

A existência de uma ferramenta para o planeamento e gestão a curto e longo prazo de áreas costeiras e portuárias é particularmente importante na costa Portuguesa, dada a sua extensão, a severidade do clima de agitação marítima, a concentração de população e as atividades económicas que nela se desenvolvem.

Neste contexto, está a ser implementada no sistema HIDRALERTA (Fortes *et al.* 2013) uma metodologia para a avaliação do risco de inundações em áreas costeiras e portuárias. Este sistema integrado de gestão costeira e portuária tem como objetivo prevenir situações de emergência e apoiar a gestão, bem como planear intervenções a longo prazo, nas estruturas costeiras e portuárias.

O sistema HIDRALERTA parte da utilização de previsões da agitação marítima nas zonas costeiras e portuárias, para calcular os efeitos dos galgamentos e inundações nessas zonas. O sistema é formado por 4 módulos, um deles de caracterização da agitação marítima. Nesse módulo, são usados modelos numéricos de geração e propagação de ondas, entre os quais os modelos WaveWatch III (Tolman, 1999) e SWAN (Booij *et al.* 1999), sendo que os parâmetros deste último devem idealmente ser calibrados para cada zona em estudo.

É nesta fase que se insere o presente trabalho. A avaliação do desempenho e calibração do modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999), quando aplicado à zona da Costa da Caparica (uma das zonas de estudo e de aplicação do sistema HIDRALERTA), será efetuada através da comparação dos resultados numéricos com medições *in-situ*, tratando-se portanto de uma extensão do trabalho desenvolvido por Neves (2013).

No presente trabalho descreve-se o local de estudo, a agitação medida *in-situ*, a aplicação do modelo

SWAN à zona em estudo e a comparação entre os dados medidos e calculados.

## 2. LOCAL DO ESTUDO

A praia de S. João da Caparica localiza-se no extremo norte da Costa da Caparica, no município de Almada (Figura 1).



Fig. 1. Localização do caso de estudo (Google Earth © 2014)

Trata-se de uma praia relativamente extensa, representando uma área balnear de grande importância para as cidades de Lisboa e Almada. Constitui ainda um ponto de lazer para moradores e turistas durante todo o ano.

A praia de S. João da Caparica tem um comprimento de 1380 m e está confinada entre dois esporões. O esporão norte tem um comprimento de 350 m e o esporão sul tem um comprimento de 150 m. Junto ao esporão sul encontra-se ainda uma estrutura longitudinal aderente constituída por uma camada de enrocamento e com um núcleo constituído por areia e pedras de pequenas dimensões.

## 3. MEDIÇÕES IN-SITU

### 3.1. Dados medidos na boia da APL

A caracterização da agitação marítima ao largo da praia de S. João da Caparica é efetuada com base nos dados da boia-ondógrafo da Administração do Porto de Lisboa (APL), que se encontra estacionada

à entrada da barra de acesso ao estuário do Tejo (Figura 2).

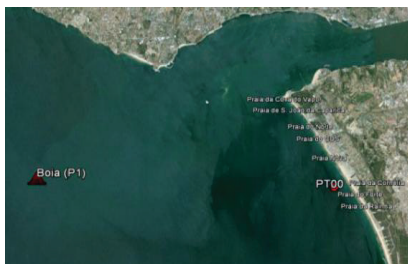


Fig. 2. Localizações da boia-ondógrafo da APL e das praias da Costa da Caparica (Google Earth © 2014)

A boia-ondógrafo, do tipo “TRIAXYS directional wave buoy” localiza-se nas coordenadas geográficas 38° 37' 25'' N, 9° 23' 09'' W e a uma profundidade batimétrica de -30 m (ZH). Nesta boia existem dados desde 1.10.2007 até 16.11.2012 (~6 anos), mas com períodos extensos de falhas. Desde 25.10.2012 até 19.01.2013 (~3 meses) os dados estão disponíveis na internet, com registos de 10 em 10 minutos. Neste trabalho são particularmente relevantes os parâmetros HS (altura significativa), TP (período de pico) e DIR\_TP (direção de pico). Na Tabela 1 são apresentadas estatísticas descritivas das séries de HS, TP e DIR\_TP, obtidas no local da boia.

Tabela 1 - Estatísticas gerais dos dados existentes (de 1 out..2007 a 16 nov 2012).

Estatísticas	HS (m)	TP (s)	DIR_TP (°)
Média	1.262	10.682	280.0
Mediana	1.040	10.500	284.5
Moda	0.880	11.800	284.1
Desvio Padrão	0.722	2.971	28.4
Variância	0.522	8.827	806.8
Curtose	4.603	0.002	29.2
Assimetria	1.942	0.044	-4.2
Gama	5.910	18.100	359.6
Mínimo	0.280	1.900	0.1
Máximo	6.190	20.000	359.7
Número	29418	29418	29418

Dos resultados obtidos verifica-se que o regime observado no local da boia é caracterizado por:

- Alturas HS entre 0.28 m e 6.2 m, com média de 1.26 m e gama mais frequente entre 0.5 m e 1.5 m;
- Períodos de pico, TP, de 1.9 s a 20 s, com média de 10.7 s;
- Direções de onda, DIR\_TP, entre 0° e 360°, ocorrendo maioritariamente na gama entre 240° e 320°. Neste ponto há ainda uma gama entre 0° e 100° que, apesar de registar poucas ocorrências, apresenta elevados períodos de pico.

### 3.2. Campanhas de medições *in-situ*

As campanhas de medições *in-situ* realizadas na Costa da Caparica e que envolveram elementos do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), da Universidade Nova de Lisboa (UNL), da Universidade do Algarve (UA) e da Faculdade de Ciências (FCUL) efetuaram-se em 11 a 15 de maio de 2010 (campanha 1) e 29 e 30 de outubro de 2012

(campanha 2) na praia da Cornélia e na praia de S. João da Caparica, respetivamente. O objetivo das campanhas era o de adquirir dados hidrodinâmicos e morfológicos para testar e validar modelos numéricos, assim como, melhorar o conhecimento da dinâmica da rebentação e sua influência no transporte de sedimentos e na morfodinâmica das praias em estudo. As campanhas envolveram o uso de diversos instrumentos de aquisição, tais como transdutores de pressão (PT), correntómetros eletromagnéticos (ECM), GPS-diferencial e ADCP. Na Figura 3 mostram-se pormenores do posicionamento dos equipamentos nas respetivas estruturas de suporte na campanha 1.

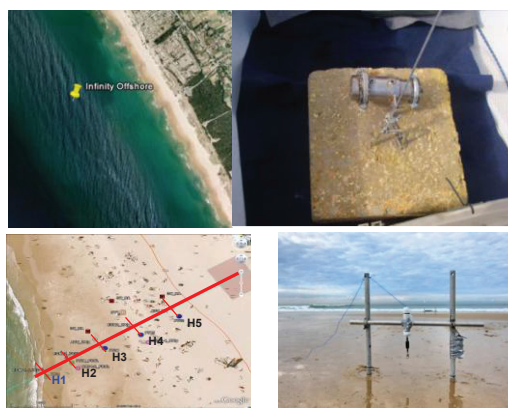


Fig. 3. Aspectos dos equipamentos: Praia da Cornélia: INFINITY (em cima); S. João da Caparica: ECM2 e PT2 (em baixo)

Nesta figura pode observar-se o equipamento INFINITY, denominado PT00, Figura 1, de coordenadas 38° 37' 27.89'' N, 9° 14' 1.46'' W, à cota -7.6 m (ZH) um dos pontos utilizados nas comparações aqui efetuadas com o modelo numérico SWAN. O tratamento dos dados foi realizado mediante análises temporal e espectral.

## 4. APLICAÇÃO DO MODELO SWAN

Nesta secção descreve-se a aplicação efetuada com o modelo SWAN para a zona em estudo, com vista a avaliar o desempenho do modelo. Compararam-se dados *in situ* com resultados do modelo numérico seguindo a seguinte metodologia:

- no ponto da boia P1, -30 m (ZH), para o período de 01.10.2007 a 16.11.2012, sem a consideração de um campo de ventos nos cálculos numéricos;
- no ponto do sensor de pressão PT00, -7.6 m (ZH) para o período de 12 a 15 de maio de 2010 (campanha 1), sem a consideração de campo de ventos nos cálculos numéricos;
- no ponto da boia P1, -30 m (ZH), para o período de 29 a 30 de outubro de 2012 (campanha 2), considerando um campo de ventos nos cálculos numéricos.

### 4.1 Condições iniciais

A execução do modelo SWAN requer a introdução de diferentes dados de base, referentes às variáveis



físicas que caracterizam a batimetria, a agitação ao largo, os ventos e as marés.

Consideraram-se como condições ao largo os estados de mar estimados pelo modelo de 3ª geração e propagação de ondas WaveWatch III, (Tolman, 1999). Estas estimativas são definidas pelos parâmetros HS, TP e DIR, obtidos a cada três horas, referentes ao período de 01.10.2007 até 16.11.2012, Poseiro (2013).

Relativamente aos ventos, e apenas para o período da campanha 2 (de 29 a 30 de outubro de 2012), utilizaram-se os dados de vento regionais a 10 m disponibilizados pela FNMOC através do modelo NOGAPS (Bayler, 1992) nas suas componentes horizontal (U) e vertical (V) e com uma resolução espacial de 1°. Foram considerados, no domínio de cálculo do SWAN, 4 pontos com dados de ventos.

Quanto ao nível de maré, este foi considerado variável, recorrendo aos valores fornecidos pelo marégrafo de Cascais, tendo estes já incluídos o valor da sobrelevação do nível do mar ou “*storm surge*”. Esta sobrelevação descreve a subida temporária do nível do mar como consequência das condições meteorológicas inconstantes, nomeadamente de variações no campo da pressão atmosférica e/ou da ação de ventos fortes e prolongados.

#### 4.2 Domínio Computacional e características das simulações

Foram ainda consideradas as seguintes condições de cálculo: a) Utilização da versão 40.72 do SWAN, sem correntes, em modo estacionário; b) Utilização de um espectro direcional em frequência de JONSWAP de 23 intervalos, de 0,04 a 2.0 Hz, com distribuição logarítmica e discretização em direção cobrindo 270°, dividida em 90 intervalos; c) Coeficiente de rebentação constante de 0.65; d) Utilização da forma espectral JONSWAP adaptada com parâmetro de atrito de fundo de  $0.067 \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$ . Estes valores são os indicados por defeito no manual do SWAN.

Os resultados foram obtidos em todo o domínio de cálculo e em pontos específicos, nomeadamente no ponto P1, com coordenadas geográficas 3° 37' 26" N, 9° 23' 10" W, onde se encontra o equipamento boia-ondógrafo TRIAXYS, com localização a oeste do Bugio, para os períodos de 01.10.2007 a 16.11.2012 e para o período de 29 a 30 de outubro de 2012 (considerando neste último período, um campo de ventos nos cálculos numéricos). Foram também obtidos resultados numéricos no ponto PT00, correspondente à posição do sensor de pressão na campanha 1, de 11 a 15 de maio de 2010.

Note-se que para uma utilização mais rápida e eficiente do modelo SWAN foi usada a interface de modelos SOPRO (Pinheiro *et al.*, 2007).

## 5. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DADOS IN-SITU E RESULTADOS NUMÉRICOS

Na Figura 4 apresenta-se a título de exemplo os valores de HS obtidos pelo modelo numérico e os dados *in situ*, para o período de 11 de fevereiro a 1 de abril de 2012.

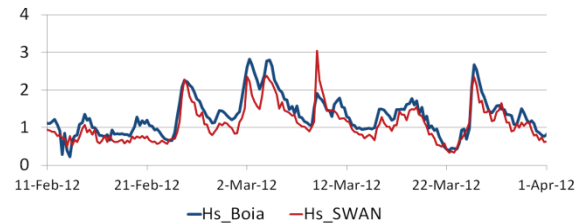


Fig. 4. Resultados SWAN e dados *in situ* de 11 de fevereiro a 1 de abril de 2012

Com base nos resultados obtidos pelo modelo numérico SWAN (HS, TP e DIR\_MED, direção média) em P1 e nos registos da boia, no período de 01.10.2007 a 16.11.2012, obtiveram-se os parâmetros estatísticos: média, erro médio quadrático (RMSE), índice de dispersão (SI) e desvio (BIAS) apresentados na Tabela 2. De igual forma, apresentam-se as mesmas estatísticas na Tabela 3 para os períodos das duas campanhas de obtenção de dados *in-situ*: campanha 2, de 29 e 30 de outubro de 2012, no ponto P1, e campanha 1, de 12 a 15 de maio de 2010, no ponto PT00. Aqui também se compara o período médio.

Tabela 2 – Estatísticas da comparação dos resultados obtidos pelo SWAN e os dados da boia, P1, de 01.10.2007 a 16.11.2012.

	Medições (P1)	SWAN	
HS (m)	1.275	1.490	Média
	0.348		RMSE
	0.273		SI
	0.216		BIAS
TP (s)	10.753	8.674	Média
	2.825		RMSE
	0.263		SI
	-2.079		BIAS
DIR_Med (°)	279	302	Média
	40.589		RMSE
	0.145		SI
	22.996		BIAS

Da análise da Figura 4, verifica-se que para o ponto P1 os resultados do modelo SWAN em termos de altura significativa HS seguem, em geral, o andamento da agitação real, medida na boia-ondógrafo. O mesmo se verificou para o período de pico e para a direção de onda, sendo, no entanto, mais evidentes as diferenças entre valores medidos e numéricos, principalmente para a direção da onda. Como se pode observar na Tabela 3, verifica-se que para a altura significativa e o período de pico, os desvios (BIAS) apresentados não são significativos; contudo, em termos de direção média (~23°) as diferenças já são relevantes. Os valores de RMSE e de SI também traduzem este melhor desempenho do



SWAN para os valores de HS face a TP e, por sua vez, face às direções de onda.

Tabela 3– Estatísticas resultantes da comparação dos resultados obtidos pelo modelo SWAN e os dados fornecidos pela boia, em P1, de 29 a 30 de outubro de 2012 e pelo sensor de pressão INFINITY no ponto PT00, de 12 a 15 maio de 2010.

	29 a 30 de outubro de 2012		12 a 15 de maio de 2010		
	Medições (P1)	SWAN	Medições (PT00)	SWAN	
HS (m)	0.930	0.661	0.206	0.266	Média
	0.295		0.172		RMSE
	0.317		0.8333		SI
	-0.269		0.060		BIAS
TP (s)	7.600	6.695	8.816	7.243	Média
	2.082		1.743		RMSE
	0.274		0.198		SI
	-0.905		-1.574		BIAS
TM02 (s)	4.138	3.078	8.449	6.718	Média
	1.396		1.814		RMSE
	0.337		0.215		SI
	-1.060		-1.731		BIAS
DIR_MEd (°)	251	241			Média
	46.236				RMSE
	0.184				SI
	-9.882				BIAS

Para a situação em que se efetuaram cálculos com ventos (29 a 30 de outubro de 2012), no ponto P1, o comportamento do modelo foi muito semelhante ao observado para os cálculos efetuados sem vento, podendo-se afirmar (com as devidas reservas) que é melhor para HS e TP (menores valores de RMSE).

Para o ponto PT00, à cota - 7.6 m (ZH), o comportamento do modelo é também semelhante ao dos dados medidos, i.e., o andamento geral dos valores numéricos acompanha o andamento dos medidos e as diferenças são menos significativas para a altura de onda do que para o período, como se poder constatar ao observar o baixo valor de RMSE.

## 6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como principal objetivo a análise do desempenho do modelo SWAN na praia de São João da Caparica, Costa da Caparica, Almada. O modelo SWAN é um dos modelos do sistema HIDRALERTA, que está a ser implementado para aquela região. Efetuou-se a comparação dos resultados numéricos do SWAN com dados obtidos *in-situ*, quer da boia ondógrafo da APL quer resultados das campanhas de campo medidos por um sensor de pressão PT1. Verificou-se uma boa concordância do modelo SWAN com as medições, tanto no andamento geral como na ordem de grandeza das alturas significativas e períodos de onda ao longo dos períodos em estudo, para os dois pontos. Em relação à direção de onda, o modelo, nesta região, não reproduz convenientemente a refração que se observa. A comparação dos resultados numéricos com os restantes dados medidos *in situ*, principalmente em profundidades

menores permitirão avaliar o desempenho do modelo nessa situação.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FCT pelo financiamento concedido ao projeto HIDRALERTA, ref. PTDC/AAC-AMB/120702/2010, à Eng<sup>a</sup> Patrícia Neves e ao Prof. J. Antunes do Carmo, da Universidade de Coimbra, pelo seu contributo com o trabalho já desenvolvido na área de estudo, e à Eng<sup>a</sup> Teresa S. Pereira, da APL, pela cedência dos dados da boia. Agradecem também aos elementos do NEC (LNEC, Dra. Paula Freire, Eng<sup>os</sup> André Fortunato e Francisco Sancho), UNL (Prof. José Carlos Ferreira), UAlg (Prof. Óscar Ferreira) e à FCUL (Profs. Rui Taborda e J. Cascalho) pela cedência de equipamentos nas campanhas e, finalmente, ao Sr. Carlos Manuel, do Restaurante-bar Pé-Nu, pela cedência de espaço para instalação de equipamentos e colaboração nas campanhas.

## REFERÊNCIAS

- Baylor, G. and H. Lewit. (1992). The Navy Operational Global and Regional Atmospheric Prediction System at the Fleet Numerical Oceanography Center, Weather and Forecasting, Vol. 7, No. 2, June.
- Booij, N., Ris, R.C. e Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. J. Geog. Res., C4,104, 7649-7666.
- Fortes, C.J.E.M.; Reis, M.T.; Poseiro, P.; Capitão, R.; Santos, J.A.; Pinheiro, L.P.; Rodrigues, A.; Sabino, A.; Rodrigues, M.C.; Raposeiro, P.D.; Ferreira, J.C.; Silva, C.; Simões, A.; Azevedo, E.B. (2013). O Projeto HIDRALERTA - Sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias. 8<sup>as</sup>JPECP, AIPCN/PIANC, 10 e 11 de outubro.
- Neves, P. (2013). Avaliação do risco de inundação da zona da Costa da Caparica. Dissertação Mestrado, FCTUL, 120p.
- Pinheiro, L., Fortes, C.J.E.M., Santos, J.A., Fernandes, L. e Walkley, M. (2011). Boussinesq-type numerical model for wave propagation near shore and wave penetration in harbors. MARTECH 2011, 10 a 12 de maio, Lisboa.
- Poseiro, P. (2013). Procedimentos para a execução do sistema HIDRALERTA: Desenvolvimento de aplicações em Python. Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas - LNEC. Lisboa. ([https://sites.google.com/site/pedroposeiro/docs/Report\\_Hidralerta\\_Pedro\\_23052013.pdf](https://sites.google.com/site/pedroposeiro/docs/Report_Hidralerta_Pedro_23052013.pdf))
- Tolman, H., 1999. User Man. and Syst. Doc. WAVEWATCH-III.

## Avaliação do risco de galgamento de estruturas portuárias: aplicação ao porto de Ponta Delgada

D. Pereira<sup>(1)</sup>, L. G. Lopes<sup>(1)</sup>, M. T. Reis<sup>(2)</sup>, C. J. Fortes<sup>(2)</sup> e P. Poseiro<sup>(2)</sup>

(1) Centro de Ciências Exatas e da Engenharia, Universidade da Madeira. (debora@uma.pt)

(2) Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

**Resumo:** Neste trabalho, descreve-se a aplicação de uma metodologia para a avaliação do risco de galgamento de estruturas portuárias ao porto de Ponta Delgada, Açores. Esta metodologia envolve, primeiramente, a caracterização da agitação marítima, sendo o estudo da propagação das ondas desde o largo até ao interior do porto feito através do uso combinado dos modelos numéricos WAVEWATCH III, SWAN e DREAMS. Foi considerado um período de estudo de dois anos, entre 2011 e 2012. Os resultados do modelo SWAN foram validados através de comparação com dados *in situ* medidos por boia-ondógrafo. Com base nos valores fornecidos pelo modelo DREAMS, efetuou-se a determinação do caudal médio de galgamento em cinco secções de estruturas portuárias pré-selecionadas, com recurso à ferramenta neuronal NN\_OVERTOPPING2. A avaliação do risco associado ao galgamento para cada secção analisada, a partir da probabilidade de ocorrência de galgamento e das consequências a ele associadas, permitiu a criação de mapas de risco, importantes para o planeamento de operações e de futuras intervenções nos locais em estudo.

**Palavras-chave:** engenharia costeira, galgamento de estruturas portuárias, avaliação de risco, agitação marítima, modelação numérica, porto de Ponta Delgada.

### 1. INTRODUÇÃO

O aumento da concentração da população e das atividades económicas em regiões costeiras pode contribuir para o incremento da vulnerabilidade das infraestruturas e das pessoas expostas à severidade e irregularidade da agitação marítima. Esta poderá produzir danos em equipamentos e estruturas, causar problemas à navegação e às atividades piscatórias, provocar a interrupção da circulação rodoviária e pedonal, causar inquietação nas populações locais e, no extremo, levar à perda de vidas humanas. Desta forma, torna-se cada vez mais necessário estimar o risco de ocorrência de galgamentos de estruturas costeiras e portuárias, tanto para prever e minimizar as suas consequências, como para verificar o correto dimensionamento das próprias estruturas.

Uma metodologia para a avaliação do risco de ocorrência de galgamentos de estruturas implantadas nessas regiões tem vindo a ser desenvolvida no LNEC, objetivando aprimorar um mecanismo de alerta capaz de indicar às autoridades competentes as situações em que tal fenómeno possa causar prejuízos e colocar em perigo a segurança de bens e pessoas, fornecendo assim um instrumento para o correto planeamento e gestão de intervenções que visem minimizar a possibilidade de ocorrência dessas situações (Santos *et al.*, 2011).

Nesse sentido, Silva (2012) efetuou uma primeira aplicação daquela metodologia ao porto de Ponta Delgada (costa sul da Ilha de São Miguel), o qual constitui a principal porta de entrada e saída de pessoas e de mercadorias no arquipélago dos Açores. Naquele trabalho, foi efetuada apenas uma análise

do galgamento de duas estruturas do porto para um período de um mês de dados de agitação marítima e ventos, considerando constante o nível de maré. O presente trabalho é uma extensão do anterior, na avaliação do risco de galgamento de cinco estruturas do referido porto, considerando um período de dados de agitação marítima de dois anos, bem como a variação do nível de maré.

As cinco secções do porto analisadas correspondem a dois pontos no molhe principal, um localizado no início do molhe, no chamado cais Nacional (ponto D1), e outro no cais NATO (ponto D2), um terceiro ponto na piscina natural (ponto D3), um no terminal de cruzeiros (ponto D4) e um no molhe da marina nascente (ponto D5). Estas secções foram escolhidas devido ao facto de estarem localizadas em áreas onde é constante a incidência das ondas, o que pode pôr em causa as atividades aí desenvolvidas (Fig.1).



Fig.1. Localização dos pontos em estudo no porto de Ponta Delgada.

### 2. METODOLOGIA

#### 2.1. Etapas principais

Sumariamente, a metodologia empregue na avaliação do risco de galgamento consiste nas seguintes etapas:

- Define-se o regime de agitação marítima incidente nos pontos em estudo, recorrendo a modelos

- numéricos de geração e propagação de ondas e a medições *in situ* efetuadas por boia-ondógrafo;
- Caracterizada a geometria da estrutura em cada uma das secções, calcula-se o caudal médio de galgamento em cada secção, recorrendo à ferramenta neuronal NN\_OVERTOPPING2 (Coeveld *et al.*, 2005);
  - Estabelecem-se os valores admissíveis do caudal médio galgado, com base nas recomendações de Pullen *et al.* (2007) e de informação fornecida por entidades locais, tendo em conta o perfil transversal da estrutura galgada, bem como a utilização e as características da zona abrigada pela mesma;
  - Calcula-se o grau de risco de ocorrência de galgamentos que excedam os valores admissíveis pré-estabelecidos, por meio da multiplicação do grau de probabilidade dessa ocorrência (Neves *et al.*, 2012) - adquirido a partir da análise dos caudais médios estimados com o NN\_OVERTOPPING2 e dos valores admissíveis - e do grau das respetivas consequências a ela associadas (Neves *et al.*, 2012);
  - A partir do grau de risco associado a cada secção em estudo, pode-se criar um mapa de risco para a área em estudo.

## 2.2. Modelação da agitação marítima

A caracterização da agitação marítima nas zonas de interesse foi feita com base em estimativas da agitação marítima ao largo, obtidas com o modelo numérico de previsão da agitação à escala regional WAVEWATCH III (WWIII) (Tolman, 1991), transferida para as zonas em estudo com recurso aos modelos numéricos de propagação de ondas SWAN (Booij *et al.*, 1999) e DREAMS (Fortes, 1993), para a propagação das ondas até à zona costeira e, depois, até ao interior do porto, respetivamente.

### 2.1.1 Modelo SWAN

Para a utilização deste modelo, foi necessária a malha batimétrica da zona a modelar, a implantação da malha espacial e a definição das variáveis de entrada, nomeadamente a introdução dos dados de agitação ao largo dos Açores a cada seis horas para um período de dois anos, 2011 e 2012, no ponto de coordenadas geográficas 37°42'N e 25°45'W, obtidos com o modelo WWIII, e dos correspondentes dados de maré fornecidos pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (Antunes, 2007). Como tais previsões do nível do mar referem-se apenas à variação da maré astronómica no local, foi adicionada uma sobrelevação constante de 0.40 m, valor este usualmente utilizado em projetos no arquipélago dos Açores (Silva, 2012).

Os cálculos foram efetuados com a versão 40.72 do SWAN, em regime estacionário, considerando apenas o fenómeno da difração, sem correntes e ventos, tendo sido utilizada uma malha retangular principal com 142×77 elementos e resolução de 500 m e uma malha fina, cobrindo a região de interesse, com 225×132

elementos e resolução de 100 m.

As condições de agitação marítima no período de 730 dias considerado foram obtidas com o modelo SWAN em dois pontos distintos: o ponto P1, correspondente à boia-ondógrafo “Bond 2”, com coordenadas M, P (612688.09, 4176197.78), com cota batimétrica aproximada de -98 m (ZH), e o ponto P2, na zona exterior do porto, com coordenadas M, P (616493.23, 4176032.00) e cota batimétrica de -40 m (ZH).

### 2.1.2 Modelo DREAMS

Os parâmetros da agitação marítima necessários para o cálculo do caudal médio de galgamento foram obtidos com recurso ao modelo DREAMS.

Para a sua aplicação, foi necessária a construção da malha de elementos finitos, a definição do domínio de cálculo, de modo a abranger o interior do porto e a área marítima adjacente até ao ponto P2, bem como o estabelecimento das condições de agitação marítima à entrada do domínio e a definição das características das fronteiras terrestres correspondentes aos segmentos que circunscrevem o porto, onde foram impostos coeficientes de reflexão.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Caracterização da agitação marítima

Numa primeira instância, fez-se a avaliação dos resultados do modelo SWAN para o ponto P1, por meio da sua comparação com dados medidos *in situ* no período de 1 de abril a 31 de maio de 2012. Tendo o modelo conseguido representar de forma satisfatória as condições de agitação preponderantes no ponto em causa, ainda que tenha sido verificada alguma discrepância, principalmente para a direção média da agitação marítima (Pereira, 2013), assumiu-se que os resultados fornecidos pelo mesmo para o ponto P2 poderiam ser utilizados como parâmetros de entrada para o modelo DREAMS.

Relativamente aos resultados do modelo DREAMS, constatou-se que os maiores valores de altura significativa da agitação marítima ( $H_s$ ) no período em estudo correspondem aos pontos D1 ( $H_s = 4.81$  m) e D2 ( $H_s = 4.25$  m). Para o ponto D5, no molhe da marina nascente, o valor máximo de  $H_s$ , de 1.56 m, verificou-se em meados de fevereiro de 2012. Para a mesma ocasião, os resultados fornecidos pelo modelo indicaram valores máximos de  $H_s$  de apenas 1.43 m no ponto D4, situado no terminal de cruzeiros, protegido das ondas de sudoeste e sul pelo molhe do cais comercial, e de 0.68 m no ponto D3, igualmente localizado no interior do porto.

A direção média incidente ( $\theta_m$ ) no ponto D1 foi essencialmente de sudoeste e sul, sendo de sudeste para os restantes pontos.

Além disso, como os pontos localizados no interior do porto não estão protegidos a sudeste por nenhuma

estrutura marítima, as ondas neles incidentes têm predominantemente esse rumo, apesar deste variar entre 83.4° e 126°, sendo a direção sudeste a principal entrada da agitação marítima para o interior da bacia do porto em estudo.

### 3.2. Caudal médio galgado

Relativamente aos galgamentos obtidos pela ferramenta NN\_OVERTOPPING2, foram observadas no molhe do cais comercial (ponto D1) duas ocasiões de galgamento, sendo que o maior caudal, de 0.22 l/s/m, verificou-se em finais de setembro de 2011 e ocorreu em simultâneo com o único evento de galgamento da secção D2, de 0.18 l/s/m.

Em todos os instantes em que se verificou a ocorrência de galgamento na piscina natural (ponto D3), também se constatou galgamento no terminal de cruzeiros (ponto D4), tendo sido em fevereiro de 2012 que se verificou o caudal médio de galgamento máximo de 8.01 l/s/m neste ponto.

Foi no terminal de cruzeiros (ponto D4) que se obtiveram os caudais mais elevados e mais ocasiões de galgamento, nomeadamente 12. Porém, na secção do molhe da marina nascente (ponto D5) não se verificou qualquer galgamento.

Ainda nesta análise, constatou-se que na altura dos galgamentos nos pontos exteriores, onde a direção das ondas é usualmente de sudoeste, verificou-se a ausência de galgamento para os locais interiores, podendo concluir-se que a ocorrência deste fenómeno para os pontos D3 e D4 deve-se ao facto destes não estarem protegidos a sudeste.

Segundo a informação obtida junto do porto, seria mais exatável a estimativa de galgamentos no molhe do cais comercial do que no terminal de cruzeiros, o que não se verificou.

Acerca do registo sistemático de ocorrência do fenómeno de galgamento, existem unicamente registos dos dias de tempestade (27 de setembro de 2011, 22 de março e 20 de agosto de 2012). Com o uso da ferramenta neuronal, apenas na primeira data foi prevista a ocorrência de galgamento.

### 3.3. Valores admissíveis

Os valores admissíveis adotados basearam-se nas recomendações de Pullen *et al.* (2007):

- Qualquer uma das estruturas marítimas se enquadra numa defesa frontal, com danos em zonas de circulação pavimentadas localizadas atrás da defesa - 200 l/s/m;
- A circulação de pessoas no molhe do cais comercial (pontos D1 e D2) é restrita, assumindo-se assim que seja apenas pessoal treinado que tenha acesso ao molhe - 1 l/s/m. Na zona das piscinas (ponto D3), a circulação é pública, envolvendo pessoas totalmente desprevenidas - 0.03 l/s/m. Nos restantes locais, considera-se que os utilizadores não ficam perturbados ou assustados com o facto de ficarem

molhados - 0.1 l/s/m;

- Os veículos circulam a baixa velocidade nos pontos D1, D2, D4 e D5 - 10 l/s/m;
- Os contentores no molhe do cais comercial (ponto D1) e o equipamento (gruas, barcos para reparação, equipamento de amarração, etc.) localizado nos pontos D2 a D5 estão a 5-10 m da estrutura - 0.4 l/s/m;
- Danos em grandes barcos localizados nos pontos D1, D2 e D4 e afundamento de barcos pequenos localizados a 5-10 m da estrutura (ponto D5) - 10 l/s/m;
- Na superestrutura do molhe do cais comercial (ponto D1) existem armazéns, na piscina natural existe um edifício de restauração e o terminal de cruzeiros apresenta na sua proximidade o edifício Portas do Mar - 1 l/s/m.

### 3.4. Avaliação de risco

Após a obtenção dos valores críticos para as diversas categorias, calculam-se as probabilidades de ocorrência de galgamento excessivo para os cinco pontos considerados e as consequências associadas.

A probabilidade de ocorrência de galgamento excessivo na secção em estudo é dada pelo quociente entre o número de vezes que, no período de tempo considerado, o caudal médio obtido supera o caudal médio admissível pré-definido e o número total de caudais médios de galgamento da amostra. Assim, associando tais valores aos definidos por Neves *et al.* (2012), obtém-se o grau de probabilidade, que para todos os pontos em estudo enquadra-se no intervalo de 0-1% (acontecimento improvável, de grau 1).

Posteriormente, definiu-se o grau de consequências associado, tendo em conta a informação das entidades locais, atribuindo-se para os pontos D1 e D2 um grau igual a 10 (consequências muito sérias), para os pontos D3 e D4 um grau igual a 5 (consequências sérias) e para o ponto D5 um grau igual a 2 (consequências reduzidas).

Por fim, o grau de risco pode ser obtido pela multiplicação dos dois graus anteriormente caracterizados (Tabela I).

Com o auxílio de Neves *et al.* (2012), é possível classificar e impor medidas de controlo do risco de galgamento, caso necessário. Assim, conclui-se que para a marina (ponto D5) não são necessárias quaisquer medidas do controlo desse risco, classificando-se o mesmo como insignificante. No entanto, para os demais pontos, é necessário adotar medidas de controlo do risco de galgamento.

Tabela I - Grau de risco para as cinco secções em estudo.

Local	Grau de Probabilidade	Grau de Consequências	Grau de Risco
D1	1	10	10
D2	1	10	10
D3	1	5	5
D4	1	5	5
D5	1	2	2



#### 4. CONCLUSÕES

Para a obtenção de valores de caracterização da agitação marítima mais próximos da realidade, é preponderante a reanálise da modelação numérica da propagação da agitação feita por meio do modelo SWAN, com a consideração do vento e a revisão da malha batimétrica utilizada.

Relativamente aos resultados do modelo DREAMS, observou-se que existe uma clara mudança das características da agitação marítima do exterior para a zona abrigada do porto, sendo a piscina natural a zona interna do porto mais protegida, nomeadamente pelo terminal de cruzeiros e pelo molhe do cais comercial. Assim, o ponto D3 é aquele onde foram obtidas as menores alturas significativas.

Os caudais médios de galgamento obtidos pela ferramenta NN\_OVERTOPPING2 para os pontos em análise demonstraram que, no período considerado, o terminal de cruzeiros foi a secção onde se observou maiores galgamentos e com mais frequência. Segundo a informação obtida junto do porto, seria mais expectável a estimação de galgamentos para o molhe do cais comercial, o que não se verificou.

Um dos possíveis motivos desta discrepância poderá incidir em alguns aspetos dos modelos numéricos de propagação da agitação marítima, como os relacionados com os coeficientes de reflexão adotados.

Na avaliação de risco, conclui-se que o risco é insignificante para o molhe da marina nascente, sendo reduzido para todas as restantes secções analisadas, para as quais será necessário seleccionar um conjunto de medidas para o seu controlo, de modo que o risco possa ser considerado aceitável. No entanto, o risco de ocorrência de galgamento apenas foi analisado para um espaço temporal de dois anos, o que não é representativo deste fenómeno.

A implementação desta metodologia de avaliação de riscos é simples e os seus resultados dependem, principalmente, da qualidade e da quantidade dos dados de agitação marítima disponíveis, do conhecimento dos locais em estudo, da escolha informada dos valores críticos admissíveis de galgamento, da aplicabilidade das ferramentas utilizadas para o cálculo do galgamento às condições/estruturas em estudo e da identificação das consequências associadas a um dado caudal médio superior ao admissível.

Esta metodologia é, assim, indispensável para o planeamento de eventuais intervenções nos locais em estudo, contribuindo, desta forma, para o desenvolvimento de um sistema de alerta, caso a agitação marítima coloque em risco bens, pessoas e o ambiente, bem como para a redução dos prejuízos que o galgamento possa causar.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e a Tecnologia o financiamento concedido através do projeto HIDRALERTA (PTDC/AAC-AMB/120702/2010). Agradecem ainda ao Eng. Pedro Silva e ao Topógrafo-Geómetra Gonçalo Azevedo, dos Portos dos Açores, à Eng. Conceição Rodrigues, da Azorina, à Eng. Lucília Luís, da Consulmar, e ao Eng. David Silva pela disponibilidade no fornecimento da informação necessária para este trabalho.

#### REFERÊNCIAS

- Antunes, C. (2007). *Previsão de marés dos portos principais de Portugal*. [http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/hidro\\_mares.html](http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/hidro_mares.html).
- Booij, N., Ris, R. C., Holthuijsen, L. H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions. Part I. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104(C4): 7649-7666.
- Coeveld, E. M., van Gent, M. R., Pozueta, B. (2005). *Neural network manual: NN\_OVERTOPPING 2. Report*. WL/Delft Hydraulics, Delft, Netherlands.
- Fortes, C. J. E. M. (1993). *Modelação matemática da refração e difração combinadas de ondas marítimas (análise pelo método dos elementos finitos)*. Dissertação de Mestrado. IST/UTL, Lisboa.
- Neves, D. R., Santos, J. A., Reis, M. T., Fortes, C. J. E. M., Simões, A., Azevedo, E. B., Rodrigues, M. C. (2012). *Metodologia de avaliação do risco associado ao galgamento de estruturas marítimas. Aplicação ao porto e à baía da Praia da Vitória, Açores, Portugal*. *RGCI*, 12(3): 291-312.
- Pereira, D. M. F. (2013). *Avaliação do risco de galgamento de estruturas portuárias: o caso do porto de Ponta Delgada (Açores, Portugal)*. Dissertação de Mestrado. Universidade da Madeira.
- Pullen, T., Allsop, N. W. H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schüttrumpf, H., van der Meer, J. W. (2007). *EurOtop - Wave overtopping of sea defenses and related structures: Assessment manual*. *Die Küste: Archive for Research and Technology on the North Sea and Baltic Coast*, 73: 1-178.
- Santos, J. A., Reis, M. T., Neves, D., Fortes, C. J. E. M., Rodrigues, S., Azevedo, E., Rodrigues, M., Simões A., Ramalheira, J., Raposeiro, P. (2011). *Porto da Praia da Vitória: estimativa de galgamentos da proteção marginal da baía*. *Actas das 7.<sup>as</sup> JPECP*, AIPCN/PIANC, Porto.
- Silva, D. M. F. (2012). *Avaliação do galgamento de estruturas portuárias*. Dissertação de Mestrado, FCT/UC, Coimbra.
- Tolman, H. L. (1991). A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents. *Journal of Physical Oceanography*, 21(6): 782-797.

## The early story of the Mediterranean Outflow - a tribute to Alfredo M. Ramalho

A. Jorge da Silva<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico. [jorge.silva@hidrografico.pt](mailto:jorge.silva@hidrografico.pt)

**Abstract:** A paper by the pioneer oceanographer Alfredo M. Ramalho and his co-worker, and captain of the research vessel *Albacora*, Luciano Dentinho is used as a tour guide on the role played by the Portuguese research in the progress of understanding the propagation of Mediterranean water in the Gulf of Cadiz. Those authors were the first to identify two cores in the Mediterranean propagation.

**Key words:** Mediterranean water, Gulf of Cadiz, Alfredo M. Ramalho

### 1. INTRODUCTION

It is now a well known fact that water of Mediterranean origin flows from the Mediterranean Sea into the Gulf of Cadiz beneath surface Atlantic water, along the bottom of the Straits of Gibraltar. This was, however, not a universally accepted true in 1927, when Ramalho and Dentinho (1928) planned an oceanographic section between Lagos and Casablanca with the express purpose of “*observing the extension and position of waters of Mediterranean origin, known to be present in this region at 800-1000 m depth*”.

The observations of the Danish Oceanographic Expeditions 1908-1910, conducted on board the Thor, had shown that water of Mediterranean origin flew through the Straits of Gibraltar to spread along the Gulf of Cadiz and beyond (Nielsen, 1912). These observations, however, did not convince Rafael de Buen (1927a), who was in charge, since 1925, of analysing the observations made in the Atlantic area south of 43°30' N by the Member Countries of the International Council for the Exploration of the Sea (ICES). De Buen was not at all convinced of Nielsen's arguments and, based on the Spanish observations in the Straits of Gibraltar, claimed that “*the deep Mediterranean waters do not seem to exert the influence one could suppose on the lower layers of the Atlantic*”. He regretted that the Portuguese observations carried out in 1926 of the south coast of Algarve were not deep enough to show the influence of Mediterranean waters in the area and indeed “*whether those waters really transposed the Straits of Gibraltar*”.

The cooperative study by Portugal and Spain of the oceanographic conditions of the Gulf of Cadiz (at that time named Gulf of Gibraltar) was been proposed by the Atlantic Continental Shelf Committee of ICES in its meeting of September 1924, where Alfredo Magalhães Ramalho, recently appointed Director of the Maritime Biological Station of Lisbon, participated as Delegate of Portugal. In 1925, the recently acquired oceanographic vessel *Albacora* became operative and, in July 1927, A.M. Ramalho connected Lagos to Casablanca with a surface-to-bottom 5-stations oceanographic section. In the two following years

the Portuguese observational programme of the Gulf of Gibraltar extended eastward to reach the Straits in 1929. Ramalho and Dentinho (1931) summarized the results of their observations. This is a revisit to their paper in an attempt to prevent that the memory of these pioneers is erased from the (hi)story of the knowledge of the role of the Mediterranean water in the world ocean.

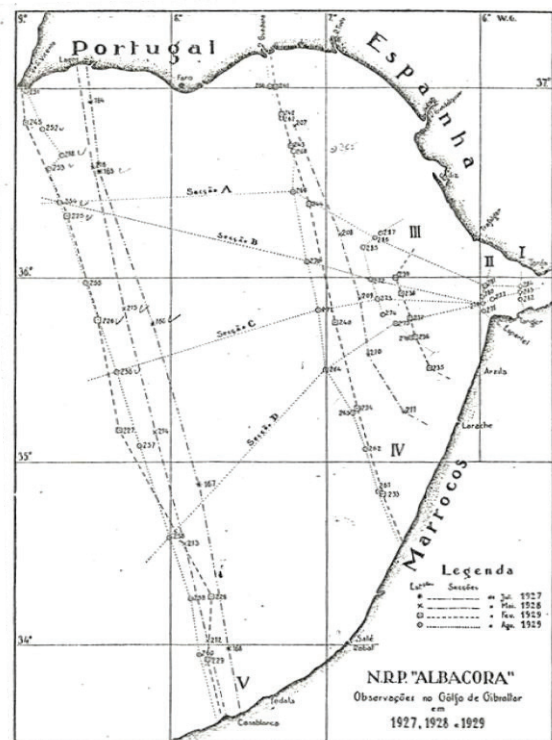


Fig 1. Stations occupied by NRP *Albacora* in the Gulf of Gibraltar, 1927-1929. Reproduced from Fig. 48 in Ramalho and Dentinho (1931).

### 2. GENTLEMEN'S POLEMICS

Holland-Hansen and Nansen (1926) gathered evidence of high salinity water, between 700 and 1400 m, claimed to be of Mediterranean origin, spreading offshore and northward along the Iberian slope, reaching as far north as the vicinity of Porcupine Bank. Ramalho and Dentinho (1928) called upon those authors in their interpretation of the observations made in 1927 between Lagos and Casablanca, and added that “*at least along the South*

coast of Portugal”, this water [of Mediterranean origin] “does not extend its influence far offshore, as it cannot be distinguished in the Moroccan side” of the Gulf of Gibraltar. The presence of water whose characteristics differed so much from those of the Atlantic at similar depths led these authors to refuse the hypotheses of de Buen (1927b), who claimed that the Spanish investigations in the Straits of Gibraltar have shown that Mediterranean water had “only a minor influence on the neighbouring Atlantic”.

While recognizing that Ramalho and Dentinho (1928) followed the generally accepted ideas, de Buen (1929) seemed obsessed in contradicting them. For instance, when trying to explain the salinity maximum observed between 800 and 1000 m in a single station performed off the N coast of Portugal by the Thor in 1910, he refused the idea of a distant origin of that high salinity, proposing instead that it was caused by “progressive increase from the surface, showing that it was due to a descending current”. During that cruise two other stations were occupied in the Gulf of Gibraltar and one W of cape St. Vincent. Although mentioning that “the high salinity [in the bottom layer in a station performed near Cadiz] could lead one to believe in a Mediterranean influence explained by the neighbourhood to the Straits of Gibraltar”, he stated that “one has never recorded such high salinity waters entering the ocean”, proposing instead that “the proximity to the coast could explain the existence of very active descending currents”.

De Buen (1929) reviewed Schott’s (1928) refusal of his hypotheses, and questioned the direct current measurements made in the bottom layer of the Straits (Idrac, 1928), stating that his own “hydrographic study of the Straits shows that the waters of an essentially Mediterranean character do not penetrate the Atlantic; such fact [...] has more value for me than the measurement of a current through a procedure whose accuracy we ignore.”

### 3. THE PORTUGUESE RESEARCH

The above mentioned section of the *Albacora* between Lagos and Casablanca in July 1927 was an important turning point. In May 1928 a second oceanographic section was added, connecting the mouth of the Guadiana river to Larache (in Morocco). In February 1929 another section was added in the eastern Gulf of Gibraltar, with two additional sections covering the western Straits in July 1929. Step by step, Alfredo Ramalho increased the overall coverage of the Gulf, while refining the scale of the observations (Fig. 1).

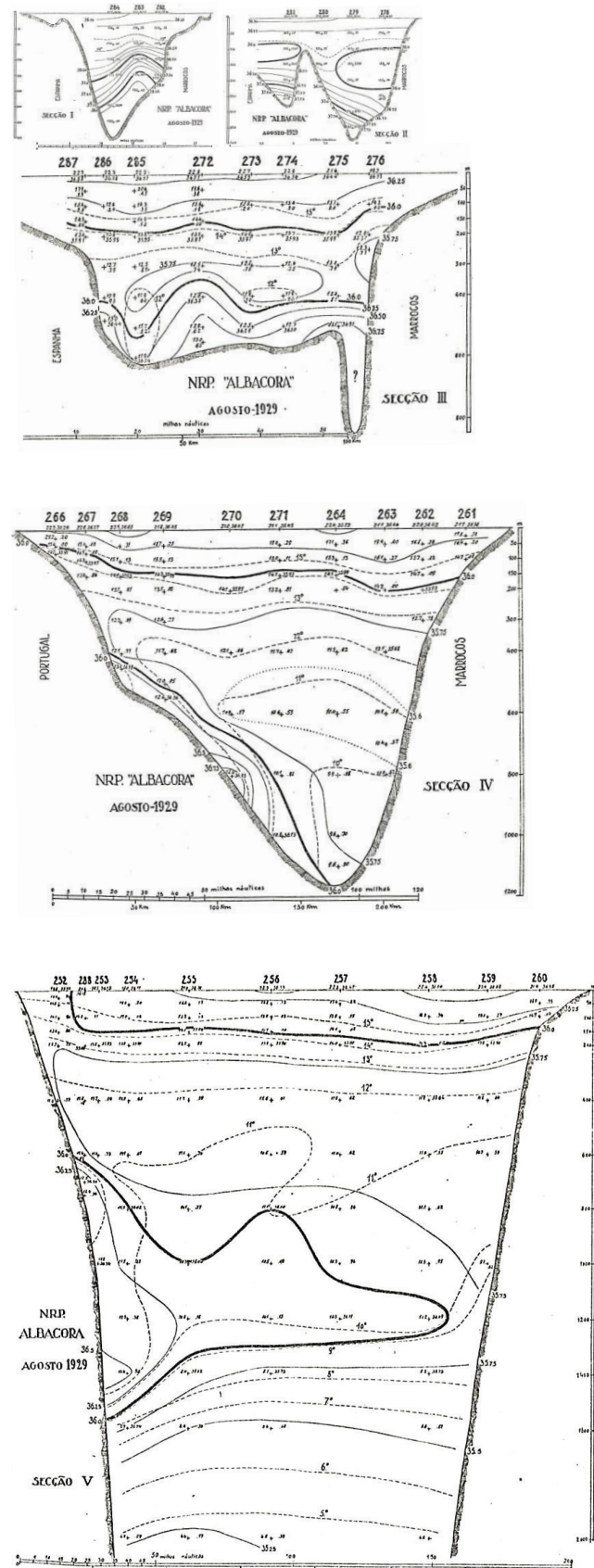


Fig 2. Temperature and salinity distributions in the five sections observed by NRP *Albacora* in the Gulf of Gibraltar, in August 1929. Reproduced from Fig. 49-52 and 54 in Ramalho and Dentinho (1931).



In their Section II, just at the entrance to the Gulf of Gibraltar, the authors noticed that the Atlantic water, characterized by a subsurface salinity minimum (35.8) occupied a thicker layer (200 m) south of "The Ridge" than north of it (150 m). Below this water, the bottom layer on both sides of *The Ridge* was occupied by a mixture of Atlantic and Mediterranean water types. A rough semi-quantitative estimate led to near bottom percentages of Mediterranean water of 85% and 44%, respectively, south and north of *The Ridge*. These figures led the authors to remark that the outflowing Mediterranean water must suffer intimate mixing with Atlantic water already inside the Straits. Nevertheless, "bottom salinities in that area are still near 38".

In the eastern Gulf of Gibraltar, the Atlantic water occupied roughly the upper 400 m, with minimum salinity values (35.66-35.79) around 300-400 m, where the temperature was just below 12°C. The bottom layer, 100-200 m thick (up to 300 m thick in the southern trench) was characterized by increasing

temperature (up to 13.1°C) and salinity (36.2-36.9). These characteristics could have, according to Ramalho and Dentinho (1931), "no other explanation than the mixing of water of Mediterranean origin with Atlantic water. The percentage of Mediterranean water certainly varies according to the stations and the depths, but it is always larger as the observations are made closer to the bottom". The authors calculations for the near-bottom observations led to 46% and 23%, respectively, at the southern and northern parts of the Section III (Fig. 2).

The authors remark the significant sinking of the bottom layer from the Straits, where the Mediterranean water was "nearly pure", to the eastern Gulf (Fig. 3). They reason that the depth increase is "evidently due to the density difference between the mixed and the Atlantic waters. Indeed, the  $\sigma_t$  interval of the mixed water was between 27.20 and 27.88, values that will only be found at 1400 m depth in Section V, in the western Gulf".

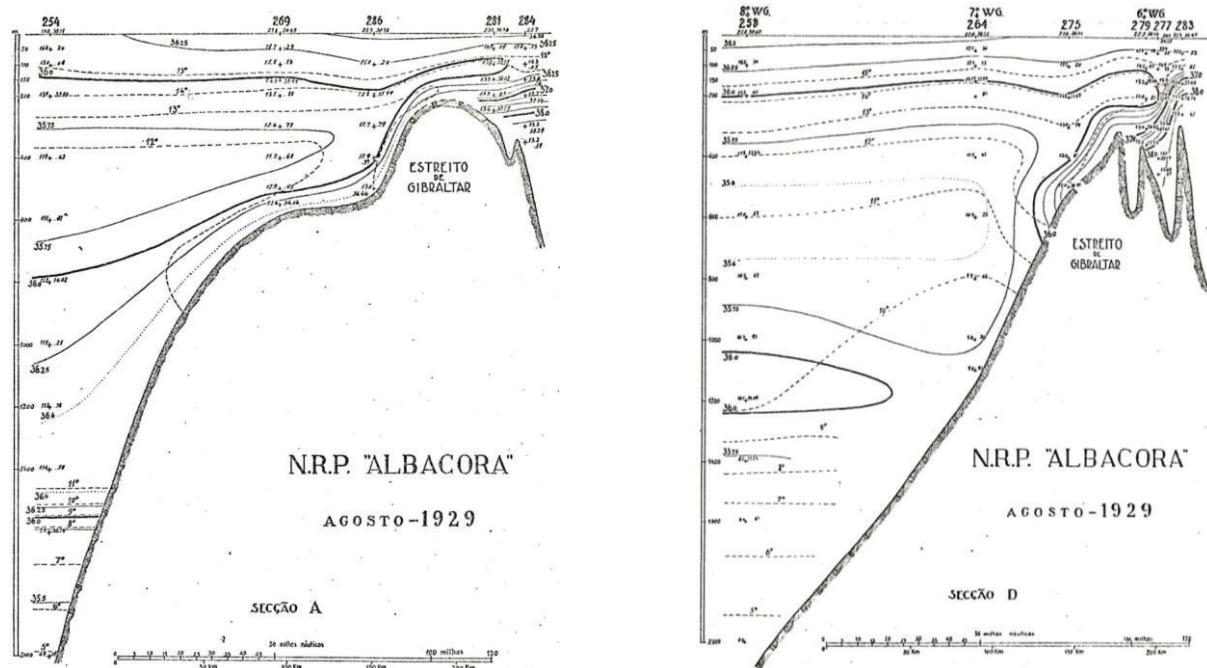


Fig. 3. Temperature (dashed lines) and salinity (solid lines) distributions in the along Gulf sections observed by NRP *Albacora*, in August 1929: Section A - closest to Europe; Section B - closest to Africa. Reproduced from Fig. 55 and 58 in Ramalho and Dentinho (1931).

The major contribution of Ramalho and Dentinho (1931) towards the understanding of the spreading of Mediterranean water in the Gulf of Gibraltar is perhaps best revealed in their Sections IV and V (Fig. 2). On one hand, they have remarked the non-symmetric distributions of temperature and salinity below the surface layer, with higher temperatures and salinities being present along the northern slope, meaning that the major flow of Mediterranean water in the Gulf of Gibraltar takes place along the

European slope (a consequence of the Coriolis effect). The authors arrived at 44% for the percentage of Mediterranean water at the bottom of station 270 and about 30% at the bottom of both stations 268 and 269 (Section IV). At stations 271 and 264, the percentages were only, and respectively, 19% and 11%. Over deeper bottoms (Section V) the non-symmetry was still evident, now with an apparent spreading of the core towards the centre of the Gulf (perhaps an undersampled Meddy). The authors calculations led to a



percentage of 25% of Mediterranean water in stations 288 (700 and 750 m), 253 (1000 m) and 254 (1200 m), and 33% at station 254 (1400 m).

Ramalho and Dentinho (1931) were also the first to identify two cores in the Mediterranean water. He noted two salinity maxima in Section IV – at 400 m in station 268 and 800 m in station 270 – and also in Section V – at 700 m in station 288 and 1100 m in station 254. The presence of those two cores in both sections led the authors to suggest continuity between them, and also to offer two hypotheses for their generation. According to the first hypothesis, the two cores corresponded to veins formed by contributions of Mediterranean water through the northern and southern channels of the Straits (see Section 2, in Fig. 2). The second hypothesis considered non-simultaneous origins of the veins. Different amounts of Mediterranean water overflowing the sill and seasonal variations in the speed would give rise to different veins. Low overflow, allowing stronger dilution, would give rise to the upper core, while strong overflow would be subject to weaker mixing, the salinity would be better maintained and the vein would be denser – lower core.

#### 4. SCIENCE AND FAITH

In September and December 1929 two research cruises were conducted by Spain in the approaches to the Straits of Gibraltar. When analysing their results, de Buen (1931) stated that the results obtained in the Arcila-Cadiz section revealed for the first time that “the deep waters with a clear Mediterranean character crosses the cape Trafalgar – cape Spartel line which we may consider as the western geographic limit of the Straits”. However, de Buen (1931) did not seem much willing to modify the ideas he has expressed in previous works: “we still believe one needs to find an explanation for the observed phenomena in the details of the deep in the western part of the Straits”.

De Buen (1931) also reported on the *Albacora* data from August 1929, but one of his main conclusions was still that the origin of the high salinity deep water mass found in the Gulf of Gibraltar may be partly due to “the action of mixed waters coming from the Straits of Gibraltar; but those waters cannot be pushed by the action of a deep current.

One had to wait for the International Geophysical Year, 1957-1958, in order to start having thorough sets of reliable data that could support solid scientific reasoning about the process of spreading of Mediterranean water into the Gulf of Cadiz, as we presently name it. Numerical models still struggle to be able to reproduce the details of the observations

along the Iberian continental slope. We are simply glad that a notorious, though unjustly forgotten, pioneer scientist was Portuguese. His name was Alfredo Magalhães Ramalho.

#### Acknowledgements

This is a work I would like to have done with my late colleague Carlos Afonso Dias, who introduced me to the Portuguese pioneers of Physical Oceanography.

#### REFERENCES

- De Buen, Rafael (1927a). Remarques Hydrologiques (Secteur sud), *Rapport Atlantique 1926, Rapports et Procès-Verbaux des Réunions*, 44, 46-60, ICES, Copenhagen
- De Buen, Rafael (1927b). Résultats des investigations espagnoles dans le détroit de Gibraltar, *Rapport Atlantique 1926, Rapports et Procès-Verbaux des Réunions*, 44, 60-136, ICES, Copenhagen
- De Buen, Rafael (1929). Régime Hydrographique du Secteur Sud., *Rapport Atlantique 1928, Rapports et Procès-Verbaux des Réunions*, 55, 50-110, ICES, Copenhagen
- De Buen, Rafael (1931). Caracteres hydrographiques du Secteur Sud, *Rapport Atlantique 1929, Rapports et Procès-Verbaux des Réunions*, 70, 47-81, ICES, Copenhagen
- Helland-Hansen, B. and Nansen, F. (1926). The Eastern North Atlantic. *Geofysiske Publikasjoner*, IV- 2, Oslo, 76 pp.
- Idrac, P. (1928). Enregistrement des courants sous-marines du détroit de Gibraltar. *Comptes rendues de l'Académie des Sciences*, t.186, p. 1058
- Nielsen, J.N. (1912). Hydrography of the Mediterranean and adjacent waters. Report n the Danish Oceanographical Expeditions 1908-1910 to the Mediterranean and adjacent waters, Vol I, Copenhagen
- Ramalho, A.M. and Dentinho, L. (1928). Notas sobre as condições oceanográficas ao largo da costa de Portugal em 1927. *Travaux de la Station de Biologie Maritime de Lisbonne*, 15, 15 pp.
- Ramalho, A.M. and Dentinho, L. (1931). Contributions à l'étude océanographique du Golfe de Gibraltar. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions*, 70, 82-115, ICES, Copenhagen
- Schott (1928). Die Wasserbewegungen im Gebiete der Gibraltarstrasse. *Journal du Conseil*, III-2, 139-175.

# Evolução da Climatologia de Agitação Marítima em Portugal Continental

J. Pinto<sup>(1)</sup>, P. Mota<sup>(1)</sup> e M. Costa<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico. [paulo.pinto@hidrografico.pt](mailto:paulo.pinto@hidrografico.pt)

**Resumo:** As observações da temperatura do ar à superfície da Terra revelam um aumento consistente da temperatura média global em 0.6°C desde 1901. O respectivo impacto sobre o clima de agitação marítima não é óbvio de determinar, mas possíveis consequências poderão ser um aumento da altura significativa média assim como um aumento da frequência, duração e intensidade dos eventos extremos, que conjugados com um previsível aumento do nível médio do mar, provocarão efeitos substanciais sobre a orla costeira. Com base nas observações realizadas nas últimas três décadas pelas bóias ondógrafo de Leixões e Sines, será apresentada uma análise da evolução da climatologia de agitação marítima. O estudo irá focar-se na avaliação das tendências dos parâmetros médios de agitação marítima, nomeadamente HS, H90 e H50, e na evolução da frequência, duração e intensidade de eventos extremos.

**Palavras-chave:** Dados de Agitação Marítima, Climatologia, Portugal Continental, Eventos Extremos

## 1. INTRODUÇÃO

Durante as últimas cinco décadas foram executados vários projectos de monitorização que permitiram avaliar a evolução climática da agitação marítima na margem Este do Atlântico Norte (NEA) (Bouws, 1996; Bacon e Carter, 1991; Dupuis, 2006). Estas análises, baseadas em observações de diversas origens e diferentes períodos que incidem sobretudo em latitudes acima dos 50°N, revelam uma tendência positiva para a altura significativa, tendência que se atenua ou se inverte à medida que nos deslocamos para latitudes inferiores. Estudos realizados com base em simulações numéricas, cobrindo os anos de 1953 a 2008, demonstram em termos genéricos os resultados obtidos pelas observações (Dodet et al., 2010).

Esta comunicação consiste num estudo preliminar que pretende complementar os estudos já realizados na NEA, tornando disponível informação respeitante à evolução da climatologia de agitação marítima em localizações meridionais, nomeadamente, sobre a costa oeste de Portugal.

## 2. AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO

Os dados de agitação marítima que serviram de base para este estudo foram adquiridos nas estações ondógrafos de Leixões e Sines incluídas na rede ondógrafo do Instituto Hidrográfico. As duas bóias Datawell, que no caso da estação de Sines era inicialmente do tipo não-direccional e posteriormente (desde 1988) do tipo direccional, encontram-se fundeadas em águas intermédias. Em ambas as estações a aquisição em condições normais é efectuada de 3 em 3 horas, com início às horas sinópticas e durante períodos de 20 a 30 minutos. Em situações de temporal a aquisição é efectuada em modo quase contínuo, isto é, os períodos de aquisição, designados por registos, são apenas espaçados de pequenos intervalos necessários ao processamento em tempo real (Costa et. al., 2001).

Tabela I: Estações ondógrafo consideradas neste estudo

Estações	Prof. (m)	Lat	Lon	Data Inicial	Registos Válidos
Leixões	83	41°19'	8°59'	Jul 1993	43338 (70%)
Sines	97	37°55'	8°55'	Fev 1980	74278 (75%)

Os parâmetros de agitação marítima considerados neste estudo, determinados para cada registo válido no domínio do tempo (método directo), foram;

- HS (altura significativa): média do terço mais alto de todas as alturas no registo;
- HMAX (altura máxima): altura máxima presente no registo.

De modo a obter uma série temporal homogénea foi realizada uma re-amostragem com uma frequência de 3 horas a partir da qual se calcularam valores médios anuais da altura significativa (HS), da altura máxima (HMAX), do percentil noventa (H90) e da mediana (H50). Na tabela I apresenta-se a profundidade, localização, o período de observação (data final é Mar 2014) e o respectivo número de registos válidos para cada uma das estações.

A série temporal apresenta várias interrupções. Problemas de manutenção resultantes de avarias ou acidentes e falhas na comunicação com as estações receptoras podem contribuir para significativas perdas de dados que condicionam as análises climatológicas. Conciliar significância estatística e cobertura temporal nem sempre é fácil de concretizar. Assim, foram considerados três critérios diferentes para o cálculo efectivo das médias anuais e sazonais:

- **FRACO** – O cálculo da média anual é apenas considerado se existirem mais de 40% de registos válidos igualmente distribuídos pelo verão e inverno, isto é, com o mínimo de 20%

de cobertura sazonal. As médias sazonais são calculadas caso existam pelo menos 40% de dados válidos em cada estação (verão/inverno). Este critério privilegia a cobertura temporal em detrimento da significância estatística.

- **MÉDIO** – O cálculo da média anual só é tomado em consideração se existirem mais de 60% de registos válidos, com pelo menos 30% de cobertura sazonal. As médias sazonais são calculadas caso a amostra correspondente tenha pelo menos uma cobertura de 60%.
- **FORTE** – O cálculo da média anual é considerado caso existam pelo menos 80% de registos válidos, com pelo menos 35% de cobertura sazonal. As médias sazonais são calculadas caso a amostra correspondente tenha pelo menos uma cobertura de 80%. Este critério privilegia a significância estatística em prejuízo da cobertura temporal.

A evolução das condições extremas é analisada com base na totalidade de registos válidos. A identificação e extensão temporal dos temporais é demarcada através da altura significativa. Na estação de Leixões o período associado a um evento extremo é determinado de acordo com as seguintes condições: HS > 4.0 m durante pelo menos 12 horas

consecutivas. Em Sines as condições de temporal são HS > 3.5 m durante pelo menos 12 horas consecutivas (Costa et. al., 2001). Para cada ano foram determinados o número de eventos extremos, a sua duração média e o valor médio da altura significativa extrema, sendo a altura significativa extrema o valor máximo de altura significativa correspondente a cada temporal. De modo a obter uma melhor estimativa da frequência anual de eventos extremos, compensando as falhas nas observações, o número de tempestades foi calculado como sendo o número de tempestades registado a dividir pela percentagem de registos válidos de inverno. Os anos com uma cobertura de inverno inferior a 40% não são considerados na análise da evolução temporal dos eventos extremos.

As médias anuais foram calculadas de acordo com o ano climatológico com início a 1 de Outubro. Assim, ao ano de 1994 correspondem os meses de Outubro a Dezembro de 1993 e os meses de Janeiro a Setembro de 1994. O ano climatológico é dividido em duas estações: o inverno, que abarca os meses de Outubro a Março e o verão a que correspondem os meses de Abril a Setembro. As tendências dos parâmetros médios anuais ou sazonais são determinadas através do método dos mínimos quadrados.

Tabela II: Tendências anuais e sazonais dos parâmetros de altura de onda, calculadas com base em observações registadas nas estações ondógrafo de Leixões e Sines.

Estações		LEIXÕES			SINES		
Critério		Fraco	Médio	Forte	Fraco	Médio	Forte
Declive (cm/ano)	HS (inverno)	1.24	2.11	3.75	-0.30	-0.27	-0.15
	HS (verão)	0.55	0.63	0.21	0.25	0.34	0.26
	HS (anual)	0.11	0.48	0.13	-0.24	-0.17	-0.47
	HMAX (anual)	0.56	1.09	0.21	-0.03	0.04	-0.53
	H50 (anual)	0.00	0.43	0.09	-0.08	0.13	-0.01
	H90 (anual)	-0.23	0.44	0.30	-0.63	-0.72	-1.59
Cobertura (-Falhas)		20 (-4)	17 (-3)	15 (-5)	33 (-4)	30 (-8)	28 (-12)

### 3. EVOLUÇÃO DAS CONDIÇÕES MÉDIAS

A tabela II apresenta as tendências anuais e sazonais da altura significativa observadas em Leixões e Sines calculadas de acordo com os três critérios atrás enunciados para os diferentes parâmetros usados neste estudo. O período de cobertura tem início no primeiro ano com registos suficientes.

As figuras 1 e 2 ilustram a evolução temporal da altura significativa anual e sazonal em Leixões e Sines, respectivamente. Apesar da percentagem global de registos válidos ser razoável (ver tabela I), a distribuição das falhas, especialmente notável quando se considera o critério forte, concentra-se na primeira metade dos respectivos períodos de operacionalidade das bóias ondógrafo.

As médias sazonais associadas ao regime de inverno apresentam uma significativa variabilidade

interanual. No entanto, os valores acima da média ocorrem geralmente em anos consecutivos, tendência mais clara em Leixões, sugerindo alguma inércia climática. Outra característica interessante revelada pelos dados consiste no facto de invernos com valores de altura significativa acima da média precederem verões com valores de altura significativa abaixo da média e vice-versa. Por exemplo, apenas nos anos de 2002 e 2013 se observaram valores sazonais de verão e inverno acima da média na bóia de Leixões. Esta característica reflecte-se na variabilidade interanual relativamente reduzida das médias anuais de altura significativa.

Os valores médios globais são praticamente independentes do critério utilizado. No entanto o declive associado à evolução no tempo dos parâmetros de altura são extremamente sensíveis à extensão da cobertura temporal. Relativamente à

bóia de Leixões, os dados mostram uma tendência positiva para todos os parâmetros em análise. Em particular e tendo em conta os últimos vinte anos, os resultados indiciam um aumento apreciável da altura significativa associada ao regime de inverno e um ligeiro incremento ao longo do tempo relativamente às médias anuais de HS, HMAX, H50 e H90.

Em Sines, com a exceção de HMAX e H50 (critério médio), observa-se uma tendência negativa para as médias anuais dos parâmetros em análise. A altura significativa também segue uma tendência negativa no regime de inverno, ao contrário do regime de verão onde se verifica uma tendência positiva.

A não conformidade entre Leixões e Sines na evolução dos parâmetros representativos da

distribuição anual/sazonal da altura de onda não resulta da diferente cobertura temporal das duas estações. De facto, considerando apenas os dados da bóia de Sines posteriores a 1994, constata-se que as tendências relativas à média de inverno de HS são, tal como em Leixões, positivas e substanciais: 0.77 cm/ano, 0.66 cm/ano e 0.36 cm/ano correspondentes aos critérios fraco, médio e forte. No entanto, as médias anuais de HS continuam a indicar uma tendência negativa, (0.22 cm/ano, -0.15 cm/ano, -0.27 cm/ano), tal como o H90 (-0.44 cm/ano, -1.12 cm/ano, -1.38 cm/ano) e a HMAX (0.59 cm/ano, -0.23 cm/ano, -0.43 cm/ano). A mediana apresenta uma ligeira tendência positiva, H50 (0.29 cm/ano, 0.02 cm/ano, 0.05 cm/ano).

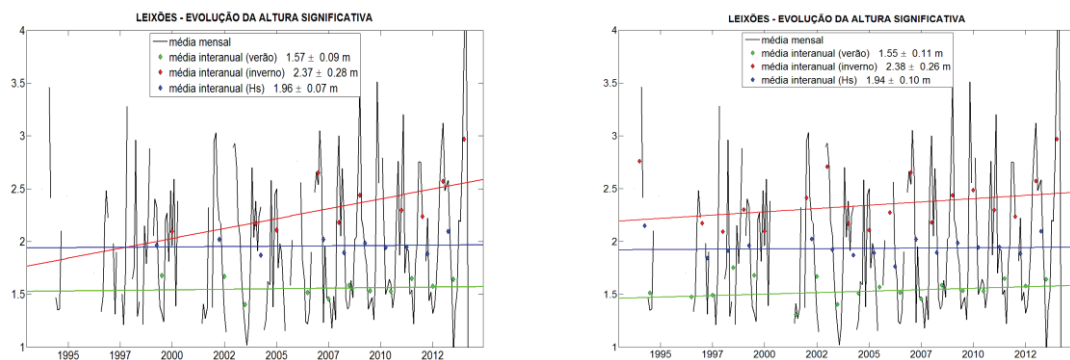


Figura 1 – Evolução temporal da altura significativa média (anual/sazonal) observada em Leixões. Esquerda: critério forte. Direita: critério fraco. As linhas ilustram a tendência anual/sazonal da altura significativa: HS inverno (vermelho), HS verão (verde) e HS anual (azul).

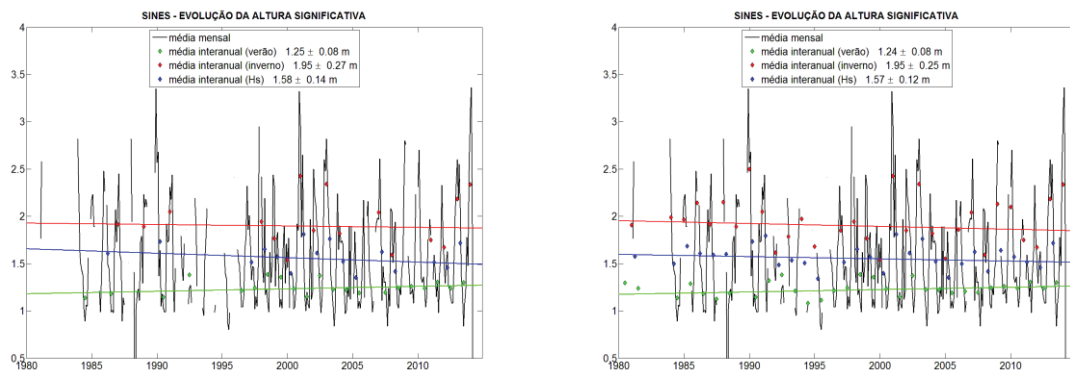


Figura 2 – Idêntico à figura anterior para a bóia ondógrafo de Sines.

#### 4. EVOLUÇÃO DAS CONDIÇÕES EXTREMAS

A figura 3 ilustra a evolução dos parâmetros que caracterizam as condições extremas de agitação marítima em Leixões e Sines. O número de tempestades por ano é caracterizado por uma clara variabilidade interanual. Em Leixões, o número médio de tempestades por ano é 10.5. Os anos que se destacam pela frequência de eventos extremos são 2014, com 21 tempestades, seguido por 2010 e 1994 com 19 e 17 tempestades. Sines sofre em média um

número equivalente de tempestades, 8.8 eventos extremos por ano, mas não necessariamente distribuídas de igual forma devido à relativa menor exposição que este local sofre perante os eventos de NW. O ano onde se registou mais eventos extremos, com 18 tempestades, foi no inverno de 2001, infelizmente um ano para o qual não existem dados suficientes em Leixões, seguido dos anos de 2003 com 16 tempestades e 2014 com 15 tempestades. Uma análise mais detalhada mostra que no caso de Sines, dos 13 anos com taxa de eventos extremos acima da média, 8 ocorreram nos últimos 14 anos,



um período correspondente apenas a 40% da cobertura temporal. Esta assimetria não é tão evidente em Leixões devido à insuficiência de dados. No entanto é de notar, como já referido, que foi nos últimos 5 anos que ocorreram as duas taxas mais elevadas de eventos extremos em Leixões.

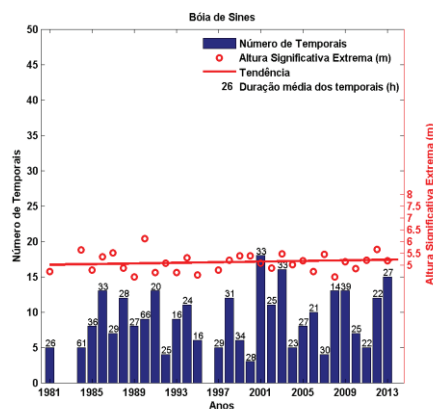
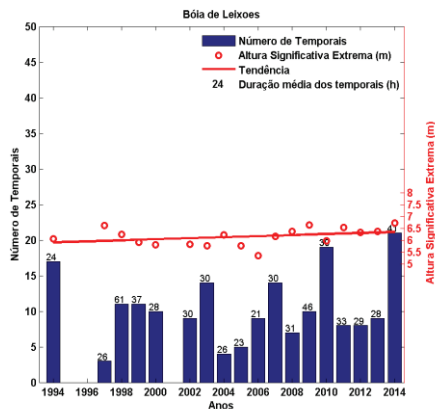


Figura 3 – Parâmetros característicos de eventos extremos observados nas bóias ondógrafo de Leixões (gráfico da esquerda) e Sines (gráfico da direita)

## 5. CONCLUSÕES

Os valores associados às tendências dos diferentes parâmetros usados na análise da evolução das condições médias dependem claramente do critério aplicado na gestão das falhas. No entanto e para o mesmo conjunto de dados, os diferentes critérios são em geral qualitativamente consistentes. Em Leixões, os resultados apontam num incremento com o tempo dos parâmetros que caracterizam a distribuição anual/sazonal de alturas. Em contraste e com a exceção da média de verão de HS, verifica-se uma redução nos valores desses parâmetros em Sines ao longo do tempo. Esta inversão das tendências não é uma consequência da diferente extensão temporal entre os dados das duas estações, como sugerem os resultados obtidos para Sines ao se considerar idêntico período, com a exceção notável da média de HS no regime de inverno. Para este parâmetro em particular, existe concordância entre os dois locais, isto é, no período posterior a 1994 verifica-se em Sines, tal como em Leixões, um aumento na média de HS relativa aos meses de inverno.

Os dados revelam uma clara diferença na evolução climatológica entre a costa noroeste e a costa sudoeste de Portugal. Em termos médios, a tendência positiva observada a norte é invertida a sul, confirmando estudos efectuados com base em simulações numéricas (Dodet *et al.*, 2010). Por outro lado, a análise da evolução dos eventos extremos evidencia um aumento na frequência dos temporais assim como na sua intensidade em ambas as estações ondógrafo. Em particular, a evolução na intensidade destes eventos extremos, tal como a média de inverno de HS, é relativamente acentuada em Leixões. Contudo, este resultado excessivo pode

ser circunstancial e imputado a uma insuficiente cobertura temporal. Assim, serão necessárias análises adicionais combinando diferentes conjuntos de dados de agitação marítima disponíveis para a costa noroeste, de modo a ampliar a cobertura temporal e confirmar, ou não, estas tendências.

## REFERÊNCIAS

- Bacon, S., Carter, D.J.T., (1991). Wave climate changes in the North Atlantic and North Sea. *International Journal of Climatology* 11, 545 – 558.
- Bouws, E., Jannink, D., Komen, G.J., (1996). The increasing wave height in the Northern Atlantic Ocean. *Bulletin of the American Meteorological Society* 10, 2275 – 2277.
- Costa, M., Silva, R., Vitorino, J., (2001). Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. 2.<sup>as</sup> JECP – Sines.
- Dodet, G., Bertin, X., Taborda, R., (2010). Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades. *Ocean Modelling* 31, 120 – 131.
- Dupuis, H., Michel, D., Sottolichio, A., (2006). Wave climate evolution in the Bay of Biscay over two decades. *Journal of Marine Systems* 63, 105 – 114.

*Em homenagem a Vasco Graça-Moura (1942-2014) os autores não adoptaram o novo acordo ortográfico.*

## Influência das correntes no comportamento do modelo SWAN na zona de Diogo Lopes, Brasil

A. Ramos<sup>(1)</sup>, C. Fortes<sup>(2)</sup>, A. Pires Silva<sup>(1)</sup> e A. Scudelari<sup>(3)</sup>

(1) Instituto Superior Técnico, U. Lisboa. andre.amos@ist.utl.pt, aps@civil.ist.utl.pt

(2) Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC.

(3) Universidade Federal do Rio Grande do Norte C.P. 1596, CEP 59078-970, Natal, RN, Brasil.

**Resumo:** A zona de Diogo Lopes, situada no estado do Rio Grande do Norte, Brasil, foi alvo de vários estudos interdisciplinares, que incluíram a caracterização da agitação marítima ao longo desta costa (Ângelo et al. 2012, Matos et al. 2013). Esta é dominada por um regime de alternância de brisa marítima e terrestre que colocou certas dificuldades. Para obviar a estas, recorre-se, novamente, ao modelo *SWAN* para a simulação do estado de mar, mas com um domínio de cálculo alargado, um campo de ventos, obtido na estação meteorológica de Macau, diferente e com a introdução da interacção das ondas e correntes. Estas são provenientes do modelo hidrodinâmico *SISBAHIA* desenvolvido na referida Universidade. O forçamento ao largo é obtido recorrendo ao modelo *Wavewatch III*. Para a verificação das simulações, utilizaram-se medições de sensores *AWAC* para o período de 11 a 12 de Dezembro de 2010, em dois pontos distintos da malha computacional.

**Palavras-chave:** SWAN, Ondas-Correntes, Diogo Lopes, SISBAHIA, Agitação Marítima, Rebentação Parcial.

### 1. INTRODUÇÃO

A região adjacente ao estuário de Diogo Lopes (Figura 1), que se situa no estado brasileiro do Rio Grande do Norte (RN) no nordeste do Brasil, é caracterizada por um clima tropical, que por sua vez se reflete no tipo de paisagem dominante.



Figura 1 - Localização de Diogo Lopes no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. Adaptado Google Maps.

Na zona em estudo verifica-se a existência abundante, ao longo da linha de costa, de pequenos estuários de rios e lagoas que desaguam no oceano. Devido a este facto, estamos perante um ambiente marítimo muito sujeito às correntes que iniciam processos de alteração sedimentológica, consequência da presença destes estuários. Este trecho de costa é fortemente afetado pela ação das ondas e correntes provocadas pela variação do nível de maré, cuja interação tem um papel decisivo na dinâmica costeira. Por esta razão, têm sido realizados, ao longo dos últimos anos, variados estudos interdisciplinares que visam caracterizar de forma cada vez mais objectiva os processos dominados pela agitação marítima. É ainda de referir que a agitação marítima em Diogo Lopes é muito

influenciada pela alternância entre a brisa terrestre e brisa marinha, que se faz sentir ali com alguma intensidade. Esta circunstância induz uma modulação diurna no campo de ondas que colocou certas dificuldades para a modelação numérica. O modelo utilizado no presente trabalho para a simulação do estado de mar corresponde ao *SWAN*, que representa um acrónimo para *Simulating Waves Nearshore* (Booij et al., 1999). Este modelo visa fornecer os parâmetros característicos da agitação marítima através do espectro direcional estimado em locais de interesse junto ao litoral. Mais especificamente, este estudo, vem no seguimento dos trabalhos levados a cabo por Ângelo (2012) e Matos (2013), que aplicaram o modelo *SWAN* para diferentes condições de vento e agitação ao largo, tendo sido comparadas as simulações numéricas com medições efectuadas *in situ* em dois pontos distintos (PT1 e PT2) no período de 11 a 12 de Dezembro de 2010. Estas comparações revelaram-se bastante concordantes. No entanto, registaram-se algumas discrepâncias, principalmente no que refere aos valores calculados do período médio ( $T_{m0,2}$ ). Uma das razões apontadas para as discrepâncias verificadas no período médio foi o facto de não se ter considerado a existência de um campo de correntes nas simulações numéricas. De facto, numa zona de estuário a consideração de um campo de correntes é importante, como se poderá observar através das comparações dos valores calculados com as medições *in situ*. A introdução de correntes irá possibilitar a descrição do efeito de *Doppler*, e desta forma, é esperado que os valores calculados do período médio de onda se aproximem mais dos períodos reais. Com o objectivo de complementar os estudos já realizados por Ângelo (2012) e Matos

(2013), o presente trabalho consistiu na aplicação do modelo *SWAN* na zona adjacente a Diogo Lopes tendo em conta, para além das condições de agitação ao largo e condições do vento, a existência de um campo de correntes dentro do domínio de cálculo e um alargamento deste mesmo domínio. O modelo é aplicado para as condições de vento, marés, agitação ao largo e correntes nos dias 11 e 12 de Dezembro de 2010. Os resultados numéricos são comparados com medições *in situ* obtidas nesse mesmo período.

## 2. CASO DE ESTUDO – ESTUÁRIO DE DIOGO LOPES, BRASIL.

### 2.1 Dados disponíveis.

Como foi referido, o presente estudo focou-se no melhoramento da definição das condições de aplicação do modelo *SWAN* nesta região, tendo em conta as suas características climáticas, mas também os dados que estão disponíveis, mais precisamente, as medições da velocidade do vento na estação meteorológica de Macau corrigidas para a altura de 10m (U S Army Corps of Engineers, 2002), as medições de altura, período e direção de onda *in situ* efectuadas através de dois aparelhos AWAC, as condições de agitação ao largo e as correntes que se fazem sentir na zona adjacente ao estuário. A localização destes pontos encontra-se descrita na Figura 2. Foi ainda utilizado o campo de ventos constante para toda a malha computacional, medido na Estação Meteorológica de Macau (RN) com uma resolução temporal de uma hora no período já mencionado. Utilizaram-se os dados de agitação ao largo (altura significativa  $H_s$ , período de pico  $T_p$  e direção  $Dir$ ) provenientes do modelo *WAVEWATCH III* calculado no ponto de coordenadas cartesianas UTM (787166.43 m, 9668067.83 m). As condições de correntes foram obtidas através do modelo *SisBaHiA* (**Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental**) (Rosman, 2000), que corresponde a um sistema de modelos computacionais registado pela Fundação Coppetec, órgão gestor de contratos de pesquisa do COPPE/UFRJ – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O modelo *SisBaHiA* tem sido implementado e melhorado desde 1987, com aplicações específicas em várias teses de mestrado e doutoramento, assim como em projetos de pesquisa. Este modelo é composto por vários módulos. O módulo mais relevante para o presente trabalho é o módulo Hidrodinâmico. Para mais informações referentes ao modelo *SisBaHiA*, ver Rosman (2000).

### 2.2 Condições de Aplicação do modelo *SWAN*.

A definição do domínio de cálculo do presente trabalho, teve como condicionantes os dados de batimetria disponíveis na zona de Diogo Lopes. Foi utilizada a mesma batimetria em que se basearam os

trabalhos realizados por Ângelo (2012) e Matos (2013). A fronteira de mar foi alargada não só com o intuito de minimizar alguns possíveis erros provenientes da consideração das condições de agitação ao largo em águas pouco profundas, em algumas partes da fronteira de mar da anterior grelha, mas também para aumentar a proximidade desta mesma fronteira ao ponto de cálculo do *WAVEWATCH III*.

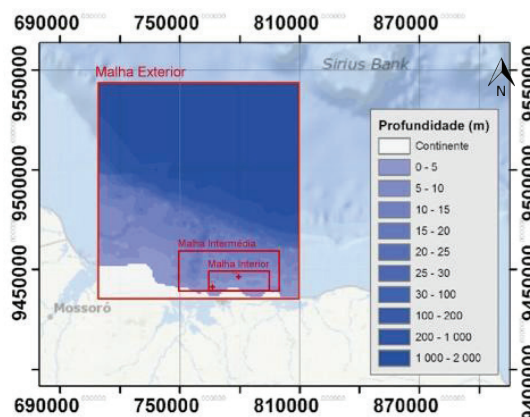


Figura 2 - Localização do domínio de cálculo, grelhas encaixadas e pontos de medição.

Tabela I - Propriedades das Grelhas de Cálculo.

Domínios	Origem (x, y) (m)	Dimensões (km)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)
Malha Exterior	(709869, 9436260)	99.5x107.5	1000	1000
Malha Interm.	(750000, 9440000)	50x20	500	250
Malha Interior	(765000, 9440000)	30x10	100	50

Foi utilizada a versão *SWAN* 40.72. Para os fenómenos físicos, foi considerada difração, interação onda-onda tripla e quadrupla. O atrito de fundo foi introduzido segundo a expressão semi-empírica de JONSWAP (Hasselmann et al., 1973). Considerou-se rebentação induzida pelo fundo e rebentação parcial por excesso de declividade (*whitcapping*), tendo sido utilizada a formulação de van der Westhuysen et al. (2007) para este último fenómeno. A discretização do espectro direcional foi feita em 23 intervalos de frequências entre 0.04 Hz e 1.0 Hz, com uma distribuição logarítmica. Esta discretização abrange 360°, e divide-se em 90 intervalos iguais. Ensaíram-se os dois modos de explorar o modelo – *estacionário* e *não estacionário* – experimentaram-se dois valores para o coeficiente de atrito do fundo e testou-se, principalmente, a introdução de correntes comparando com simulações onde estas não foram consideradas. Tendo em conta estes factores, as simulações numéricas destinaram-se a avaliar a importância das correntes e do coeficiente de atrito do fundo. Tendo em conta que no trabalho realizado por Ângelo (2012) se testaram vários coeficientes de atrito, escolheram-se dois desses valores já testados que traziam melhores resultados. Foi adoptado o coeficiente de atrito definido por defeito pelo *SWAN* para ondas de



vento (*wind sea*) de  $c=0.067 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$  e testou-se ainda o valor de  $c=0.1 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$ . No total foram levadas a cabo 8 simulações numéricas. Testaram-se todos os pares coeficiente de atrito do fundo-condições de correntes possíveis (tendo em conta o que foi afirmado). Para a montagem dos ficheiros de *input* em modo estacionário recorreu-se ao SOPRO (Pinheiro et al., 2007).

### 3. COMPARAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.

No que concerne à altura significativa, observa-se que a introdução do campo de correntes não afeta significativamente este parâmetro. Por outro lado, a variação do coeficiente de atrito do fundo tem uma elevada participação na boa aproximação da altura significativa, ou seja, quanto maior for o valor do coeficiente de atrito do fundo, menor será a altura de onda obtida. Pode-se verificar o acima escrito na Figura 3 para o PT1 e na Figura 5 para o ponto de medição PT2. Os melhores resultados foram obtidos em modo estacionário utilizando-se o coeficiente de atrito correspondente a ondas de vento ( $c=0.067 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$ ) tal como em Bouws e Komen (1983).

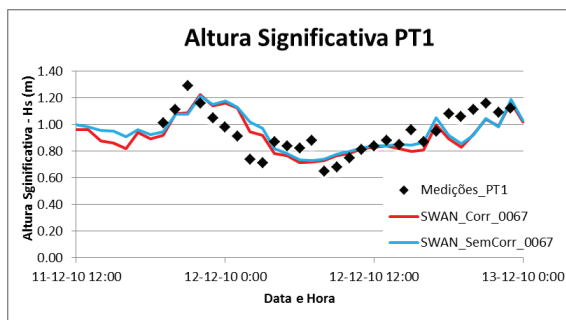


Figura 3 - Altura Significativa PT1. Modo Estacionário.  $c=0.067\text{m}^2\text{s}^{-3}$ . 11 a 12 de Dezembro de 2010.

Relativamente aos períodos médios de onda, verifica-se que se conseguem, em geral, pequenas melhorias quando o campo de correntes está presente. No entanto, a variação do coeficiente de atrito do fundo tem também uma importante influência nos valores calculados de  $T_{m0,2}$ . Quanto maior o valor de  $c$ , menor é o valor de  $T_{m0,2}$  calculado através do SWAN. Pode-se observar na Figura 4 e Figura 6 o que foi explicitado.

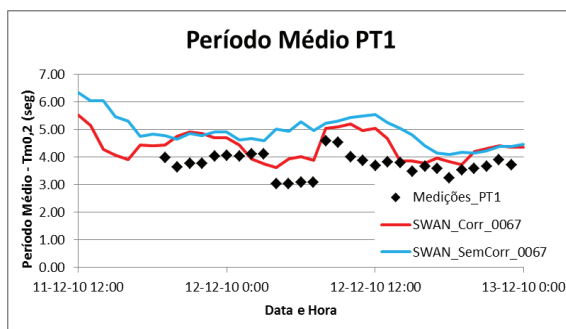


Figura 4- Período Médio. PT1. Modo Estacionário.  $c=0.067\text{m}^2\text{s}^{-3}$ . 11 a 12 de Dezembro de 2010.

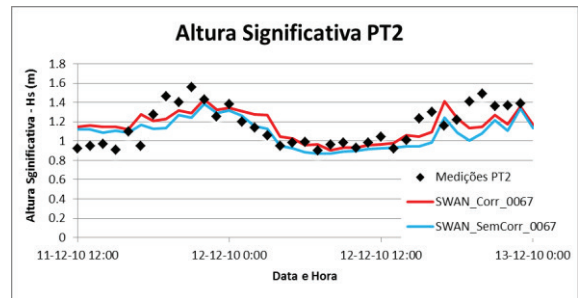


Figura 5 - Altura Significativa PT2. Modo Estacionário.  $c=0.067\text{m}^2\text{s}^{-3}$ . Com Correntes. 11 a 12 de Dezembro de 2010.

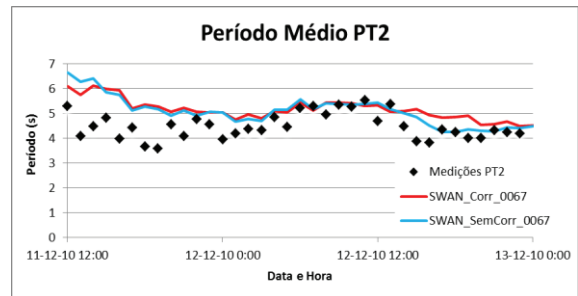


Figura 6 - Período Médio PT2. Modo Estacionário.  $c=0.067 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$ . 11 a 12 de Dezembro de 2010.

Em primeiro lugar, relembando a forte influência da alternância entre brisa de terra e de mar que se faz sentir na zona de Diogo Lopes, verifica-se que se consegue descrever este fenómeno, ao nível da altura significativa, com alguma precisão, apesar da escassez espacial de dados da velocidade de vento e agitação ao largo. Pode-se então concluir que os resultados acima apresentados são satisfatórios tendo em conta as condições de aplicação experimentadas.

Como já se referiu anteriormente, a introdução de correntes no modelo, vai descrever fenómenos como o efeito de *Doppler*, e desta forma, contribuir para uma melhor aproximação à realidade dos valores calculados do período médio. Como se pode verificar através da análise gráfica, conseguem-se resultados bastante aceitáveis no campo dos períodos médios, o que conduz à conclusão que, de facto, é bastante útil a consideração de correntes nas simulações numéricas no caso da zona de Diogo Lopes.

Para uma análise mais objectiva dos resultados apresentados graficamente, apresentam-se na Tabela II os parâmetros estatísticos calculados referentes aos gráficos apresentados. Mais especificamente o valor médio do erro quadrático (*RMSE*), parâmetro de viés (*SI*) e o erro médio (*ME*) referentes a cada parâmetro calculado pelo SWAN. Os valores apresentados, especialmente o *SI*, estão em linha com outros estudos que usaram o SWAN, como Teles et al. (2012).



Tabela II - Indicadores estatísticos. Modo Estacionário.  
 $c=0.067\text{m}^2\text{s}^{-3}$ . Com Correntes. 11 a 12 de Dezembro de 2010.

	Com Correntes			Sem Correntes		
	RMSE			RMSE		
PT1	Hs(m)	Tm0,2(s)	Dir(°)	Hs(m)	Tm0,2(s)	Dir(°)
	0.127	0.732	23.097	0.130	1.164	25.209
	SI			SI		
	Hs	Tm0,2	Dir	Hs	Tm0,2	Dir
	0.134	0.196	—	0.138	0.311	—
	ME			ME		
Hs(m)	Tm0,2(s)	Dir(°)	Hs(m)	Tm0,2(s)	Dir(°)	
-0.021	0.616	-21.439	-0.002	1.046	-24.163	
PT2	RMSE			RMSE		
	Hs(m)	Tm0,2(s)	Dir(°)	Hs(m)	Tm0,2(s)	Dir(°)
	0.204	0.961	67.044	0.228	0.965	66.509
	SI			SI		
	Hs	Tm0,2	Dir	Hs	Tm0,2	Dir
	0.177	0.211	—	0.199	0.212	—
ME			ME			
Hs(m)	Tm0,2(s)	Dir(°)	Hs(m)	Tm0,2(s)	Dir(°)	
-0.226	-0.584	-15.468	-0.280	-0.645	-14.596	

#### 4. CONCLUSÕES

Analisando os valores calculados para a altura significativa, verifica-se que o impacto da alteração das condições de correntes não trouxe alterações de maior. No entanto, no campo dos períodos médios calculados, a introdução de condições de correntes provocou melhorias em relação aos trabalhos realizados anteriormente na área geográfica estudada, que eram em geral subestimados. Mais especificamente, analisando os parâmetros estatísticos calculados, obtêm-se ligeiras melhorias nas simulações em que é considerado um campo de correntes. No entanto, deve-se prestar uma especial atenção ao facto de se estar a proceder à análise de resultados em dois pontos distintos, em zonas diferentes do domínio computacional. As simulações numéricas obtidas para as condições de atrito no fundo de  $c = 0.067 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$ , com a consideração de correntes foram mais satisfatórios para o ponto PT2 do que para o ponto PT1.

#### Agradecimentos

Agradece-se ao Laboratório de Geoprocessamento, do Departamento de Geologia, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte pela cedência de dados de batimetria, ondas e marés na zona em estudo bem como ao Programa de Engenharia

Oceânica da COPPE/UFRJ pela utilização do modelo SISBAHIA.

#### REFERÊNCIAS

- Ângelo, J. C. F. (2012). *Aplicação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima na zona adjacente ao estuário de Diogo Lopes, Brasil*. Instituto Superior Técnico.
- Booij, N., Ris, R., & Holthuijsen, L. (1999). A third-generation wave model for coastal regions. I-Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104(C4), 7649–7666.
- Bouws, E., Komen, G. J. (1983). On the balance between growth and dissipation in a extreme, depth-limited wind-sea in the southern North Sea, *Journal of Physical Oceanography*, 13 (9), 1653-1658.
- Hasselmann, K., Barnett, T. P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D. E., Enke, K., Ewing, J. A., Gienapp, H., Hasselmann, D. E., Kurseman, P., Meerburg, A., Müller, P., Olbers, D. J., Richter, K., Sell, W., Walden, H. (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP) (Vol. 8). *Deutsches Hydrographisches Institut*.
- Matos, M. de F. A. (2013). *Modelagem do clima de ondas e seus efeitos sobre as feições morfológicas costeiras no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Pinheiro, L., Santos, J. A., Fortes, C. J. E. M., & Capitão, R. (2007). SOPRO - Pacote integrado de modelos para avaliação dos efeitos das ondas em portos. *Rev. da Tecnologia da Água*.
- Rosman, P. C. C. (2000). *Referência Técnica do SisBaHIA – SISTEMA BASE DE HIDRODINÂMICA AMBIENTAL*. Programa COPPE: Engenharia Oceânica, Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica, Rio de Janeiro, Brasil.
- Teles, M. J., Pires-Silva, A. A., Belo-Pereira, M. (2012). Simulations of wave conditions on open beach configuration: wind resolution seaward forcing and whitecapping effects, *European J. Environmental and Civil Engineering*, 16(8), 927-942.
- U S Army Corps Of Engineers. (2002). *Coastal Engineering Manual*.
- van der Westhuysen, A. J., Zijlema, M., & Battjes, J. A. (2007). Nonlinear saturation-based whitecapping dissipation in SWAN for deep and shallow water. *Coastal Engineering*, 54(2), 151–170.

## Going beyond $R^2$ - Simple statistical analysis to correlate inferred suspended sediment data

A. I. Santos<sup>(1)</sup>, D. Carinhas<sup>(1)</sup>, A. Oliveira<sup>(1)</sup> e J. Pinto<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, n° 49 1249-093 Lisboa, Portugal. ana.santos@hidrografico.pt

**Abstract:** The use of acoustic Doppler current profilers (ADCPs) to estimate and characterize suspended sediments in the water column consists, regardless of the approach used, on establishing a linear relation between the features of scattering particles suspended within the insonified volume and the ADCP backscatter intensity. Linear regressions were calculated between LISST data and ADCP backscatter for 5 datasets.  $R^2$  were under 70% in all cases. Given the apparently low significance  $R^2$ , further statistical tests were used to verify the correlation between the two datasets. A Pearson's coefficient of 0.822 was a first sign that both signals can be linearly correlated. An ANOVA variance analysis yielded an F distribution=7849.684 with parameters  $d_1=1$  and  $d_2=3779$  degrees of freedom (F-Snedecor statistical distribution), and p-value of 0 for a 95% confidence interval, which confirms a highly significant correlation of both signals.

**Key words:** suspended sediments, acoustic sensors, statistical tests

### 1. INTRODUCTION

Despite a century of research, sediment transport studies in coastal, estuarine and deep ocean environments still involves poorly known processes because reliable quantitative forecasts and measurements are difficult. The standard suspended sediment sampling procedures for these types of environments are usually time consuming, rather expensive and labor intensive and have a limited spatial resolution. The possibility of indirectly quantifying suspended sediment by non-intrusive measurements using ultrasound echoes has been widely investigated since 1983 by Hay. Regardless of the approach used (with empirical or acoustic theory founded relations); the measured echo is linearly related, on logarithmic axes, to the features of scattering particles that are suspended within the insonified fluid volume. Therefore, the possibility of quantifying suspended sediment from echo measurements basically consists of accurately assessing two parameters; the slope and intercept of the calibrated linear regression (Guerrero *et al.*, 2011). The use of Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP) has become widespread amongst the oceanographic community, given the large volume of information made available from a single moored instrument, the attempts to estimate and characterize suspended sediments in the water column, taking advantage of the acoustic backscatter data used, primarily, to measure currents. However the conversion process of backscatter data into SPM concentrations is not straightforward. Backscatter intensity is affected by innumerable factors including environmental conditions (sediment concentrations, salinity, temperature and pressure) and the acoustic instrument's characteristics and configuration.

In this work, linear regressions were calculated using data obtained using a laser *in situ* scattering and transmissometer (LISST) probe and ADCP current meters and some considerations are made about the statistical significance of these regressions

### 2. METHODS

Acoustic Doppler current meters work by measuring the reflection of an acoustic signal from particulate matter in water. While these instruments are primarily used to measure the velocity of the particles, they can also provide information about the quantity and type of particulate matter present. This information is measured in the form of the intensity of the received reflections, also referred to as the backscattering strength or signal amplitude (Lohrmann, 2001). An Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP) measures water current velocities over a depth range that depends on its working frequency. The LISST 100 (laser *in situ* scattering and transmissometer) uses the principle of laser diffraction to obtain the size distribution and volume concentration of suspended material in 32 size classes logarithmically spaced between 2.5 and 500  $\mu\text{m}$  (Gartner *et al.*, 2001).

The dataset used for this study consists of 5 different subsets collected in the Portuguese inner shelf using a moored structure composed of an ADCP (*RDI Workhorse Sentinel* – 1200 kHz) and a LISST-100 (*Sequoia Instruments*) probe. The structure was moored in 3 different positions during two distinct seasonal periods (further details about this survey can be consulted in Santos *et al.*, 2012).

LISST data was downloaded from the internal memory and volumetric concentrations ( $\mu\text{l/l}$ ) were obtained for each of the 32 geometric size classes and grain size statistics were calculated according to McManus (1988). Backscatter intensity (in counts) recorded by the ADCP was converted into dB and calibrated in order to estimate SPM concentration time series. The method used for this conversion and calibration is described in detail in Gartner (2004) and Lohrmann (2001). Bottom sediment samples were collected in all mooring sites in order to better understand suspended sediment sources and resuspension processes.

Backscatter intensity (in counts) recorded by the ADCP and ADV was converted and corrected into relative backscatter (RB in dB) and then into SPM concentrations using the conversion steps suggested by Gartner (2004), yielding to an equation of the type:

$$SPM_{\text{estimated}} = 10^{(A+B(RB))}$$

In which A and B (constants) are the x intercept and slope of a linear regression, respectively, and RB is acoustic relative backscatter in dB. The relative backscatter is the sum of the echo level measured at the current meter transducers plus the two-way transmission losses as defined by the sonar equation:

$$RL=SL-2TL+TS$$

where RL is the reverberation level, SL is the source level (intensity of emitted signal), 2TL is the two way transmission loss and TS is the target strength which is dependent on the ratio of wavelength to particle diameter. In this case, the calculation of attenuation loss determination due to suspended material concentration in the acoustic beam, as advised by Gartner (2004) was not considered, since suspended sediment concentrations measured in both sites were considerably low and highly variable.

Linear regressions were calculated for each of the mooring sites (south, central and north) and periods between the transformed and calibrated RB and the logarithm of LISST volumetric concentrations.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Linear regression results for all of the data subsets are shown in table I and Figure 1.  $R^2$  coefficients of determinations were determined for each of the data subsets and for the total of the observation points in all 5 subsets. This coefficient indicates how well data points fit a statistical model, in this case a linear model. It is a statistic used in the context of statistical models whose main purpose is either the prediction of future outcomes or the testing of hypotheses, on the basis of other related information. In our case we want to determine suspended sediment concentrations from an acoustic signal, assuming that the two respond to the same environmental signal.  $R^2$  values vary between 0 and 100% in which 0% indicates that the model explains none of the variability of the response data around its mean, and 100% indicates that the model explains all the variability of the response data around its mean. Therefore, the higher the  $R^2$ , the better the model fits the data.

These results show that coefficients of determination ( $R^2$ ) are higher in the central corridor during the September 2011 mooring, although none of the  $R^2$

values exceeded 70%, which is usually considered a poor significance between two physical variables.

$R^2$  values were found to be inversely proportional to the number of data points for each of the subsets and the higher significance found in the central mooring for September 2011 had to do with the number of measurements considered for the correlation (longer time of deployment) and also from a broader range of suspended sediment concentrations values. For this reason and from the fact that all of the data points seem to fall into the same linear trend (see Figure 1), the equation found using all data points was used for the inference of suspended sediment data from relative backscatter, yielding  $R^2=0.675$ . Given the apparently low significance  $R^2$  value (<70%), further statistical tests were used to verify the correlation between ADCP RB and  $\log_{10}$ LISST.

T-Student analysis is used in a linear regression to test if the line slope different from 0. A linear regression with a line slope of 0 is a sign that the two variables are not related. T-student analysis between ADCP RB and  $\log_{10}$ LISST yielded  $t=88.6\%$  with a 95% confidence interval (p value <0.05) which means that the line slope is not equal to 0.

Furthermore an analysis of variance (ANOVA) was performed on both signals. ANOVA is a particular form of statistical hypothesis testing heavily used in the analysis of experimental data. A statistical hypothesis test is a method of making decisions using data. A test result (calculated from the null hypothesis and the sample) is called statistically significant if it is deemed unlikely to have occurred by chance, assuming the truth of the null hypothesis. A statistically significant result, when a probability (p-value) is less than a threshold (significance level), justifies the rejection of the null hypothesis, but only if the a priori probability of the null hypothesis is not high. In the typical application of ANOVA, the null hypothesis is that all groups are simply random samples of the same population. This implies that all treatments have the same effect (perhaps none). Rejecting the null hypothesis implies that different treatments result in altered effects. In this case study, the ANOVA variance analysis yielded an F distribution=7849.684 with parameters  $d_1=1$  and  $d_2=3779$  degrees of freedom (F-Snedecor statistical distribution), and p-value of 0 for a 95% confidence interval, which confirms a highly significant correlation of both signals.

Therefore the final transformation equation has the form:

$$SPM_{\text{estimated}} = 10^{(-0.7001+0.0419RB)}$$

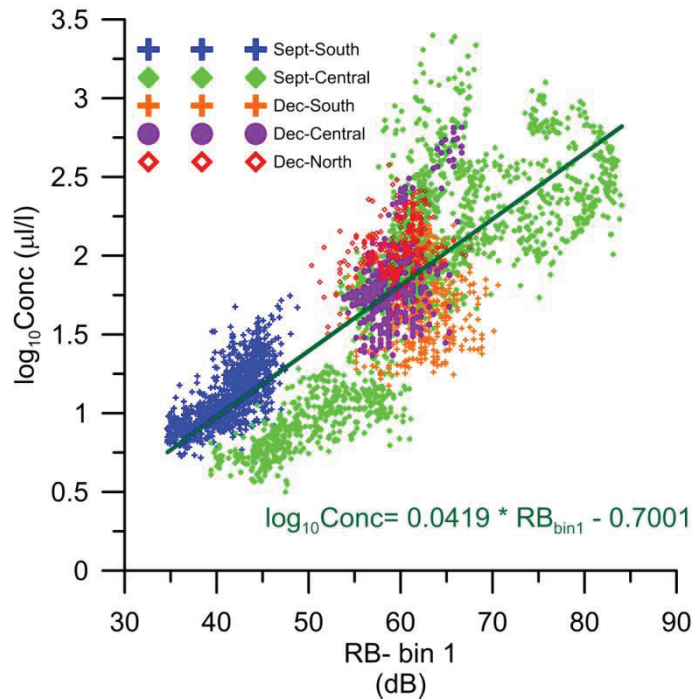


Figure 1 - Linear regression between ADCP relative backscatter (RB) in bin 1 and LISST volumetric concentration. Solid line represents the linear regression between the two data sets for all data points.

Table I: Linear regression results between LISST volumetric concentrations and corrected ADCP relative backscatter for all mooring periods and sites (A- x intercept; B-slope; RB- relative backscatter; Conc-concentration in µl/l ).

Position	Date	A	B	Average RB	Average log <sub>10</sub> Conc	Number of observations	R <sup>2</sup>
South	Sep.2011	-0.706	0.0439	41.36	1.11	987	0.504
Central	Sep.2011	-1.418	0.0530	61.38	1.84	1734	0.656
South	Dec.2011	1.176	0.0082	62.27	1.69	452	0.010
Central	Dec.2011	-1.181	0.0507	59.12	1.82	373	0.230
North	Dec.2011	0.7376	0.0222	59.62	2.06	235	0.136
<b>All Points</b>	-----	<b>-0.7001</b>	<b>0.0419</b>	<b>55.92</b>	<b>1.64</b>	<b>3781</b>	<b>0.675</b>

#### 4. CONCLUSIONS

Linear regression results between ADCP relative Backscatter and LISST sediment concentration yielded low (<70%) coefficients of determination (R<sup>2</sup>) in all 5 data subsets. However further statistical analysis (Pearson's coefficient and ANOVA analysis of variance) assured a highly significant linear correlations between the two variables. Therefore ADCP relative backscatter time series can be successfully used as a suspended sediment proxy.

#### REFERENCES

- Gartner, J.W. (2004). Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic Doppler current profiler in San Francisco Bay, California. *Marine Geology*, 211, pp 169-187
- Guerrero, M., Szupiany, R. N. and Amsler, M., Comparison of acoustic backscattering techniques for suspended sediments investigation *Flow Measurement and Instrumentation*, vol. 22, no. 5, pp. 392–401, 2011.
- Hay AE. On the remote acoustic detection of suspended sediment at long wavelengths. *Journal of Geophysical Research* 1983;88(C12):7525–42.
- Lohrmann, A. (2001). Monitoring Sediment Concentration with acoustic backscattering instruments. Nortek Technical Note No.: 003.
- McManus, J. (1988) Grain size determination and interpretation. In Tucker, M. (ed.). *Techniques in sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 63-85.
- Santos, A.I.; Oliveira, A.; Zacarias, N.; Pinto, J.P.; Ribeiro, M. (2012). Determining suspended sediment transport patterns on three key mooring sites for offshore renewable energy production experiments – S. Pedro de Moel (Portugal) – 9º Simpósio Sobre a Margem Ibérica Atlântica, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa 16-20 Dezembro 2012.





## Sensibilidade do cálculo de tensões de atrito a partir de um perfil de velocidades

T. Abreu<sup>(1)</sup>, P. Silva<sup>(2)</sup>, H. Michallet<sup>(3)</sup>, D. van der A<sup>(4)</sup> e D. Mouazé<sup>(5)</sup>

- (1) Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP-IPP) & CESAM. [taa@isep.ipp.pt](mailto:taa@isep.ipp.pt).
- (2) Universidade de Aveiro e CESAM
- (3) LEGI - Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels
- (4) School of Engineering, University of Aberdeen
- (5) Laboratoire Morphodynamique Continentale et Côtière (M2C), UMR 6143

**Resumo:** À medida que as ondas se propagam para águas pouco profundas, os deslocamentos horizontais das partículas e velocidades junto do fundo tornam-se significativos. Para satisfazer a condição de não deslizamento no fundo existe uma região designada por camada limite, caracterizada por fortes gradientes de velocidade. Estes originam tensões de atrito cujo conhecimento é importante para a mobilização e transporte de sedimentos. Neste estudo, analisam-se formas de calcular as tensões junto ao fundo com recurso a medições de velocidade efetuadas dentro da camada limite. Estas foram adquiridas por um anemómetro a raio laser no âmbito de um projeto europeu (GLOBEX). A sensibilidade dos resultados é explorada no que concerne à utilização de velocidades medidas a diferentes níveis.

**Palavras-chave:** tensões de atrito, velocidades, anemómetro a raio laser, *Momentum-integral*.

### 1. INTRODUÇÃO

Em regiões próximas do leito marinho ocorrem processos físicos cuja compreensão é fundamental para um bom entendimento e previsão do transporte sedimentar. O início do transporte sedimentar surge como resposta às forças desestabilizadoras produzidas pelo campo de fluxos, gerando tensões de atrito sobre fundos móveis e gradientes de pressão do escoamento. O projeto europeu GLOBEX (*Gently sLOping Beach Experiments*) teve como o principal objetivo de contribuir para o enriquecimento e conhecimento mais pormenorizado da hidrodinâmica associada à propagação de ondas em praias de declive suave (Ruessink *et al.*, 2013). Reconhece-se que as características não lineares do escoamento determinam o transporte sedimentar sobre um fundo móvel (Silva *et al.*, 2011, Dong *et al.*, 2013) e que a inclusão destes processos em modelos de morfodinâmica costeiros permite reproduzir melhor a dinâmica das barras litorais (Abreu *et al.*, 2013a).

Neste trabalho, pretende-se estimar as tensões de atrito junto ao fundo sob ondas não lineares com recurso a medições detalhadas de velocidade obtidas no projeto Globex. As velocidades adquiridas contemplam medições dentro da camada limite, recorrendo a instrumentos não intrusivos. Explora-se a sensibilidade dos resultados quanto à utilização de velocidades a diferentes níveis e propõe-se uma nova metodologia que visa clarificar a obtenção de resultados das tensões de atrito.

### 2. EXPERIÊNCIAS

Durante o projeto europeu GLOBEX, executou-se um conjunto de experiências no canal de ondas da Deltares (*Scheldt wave flume*). O canal possui características singulares, apresentando 110 m de comprimento, 1 m de largura e 1.2 m de altura. As paredes laterais ao longo do canal são concebidas em vidro, excetuando-se 10 m da zona central executadas em betão. Sobre o canal, construiu-se um fundo fixo de declive constante igual a 1:80, apresentando uma rugosidade de fundo semelhante à de grãos de areia. Com o batedor de ondas posicionado a uma profundidade igual a 0.85 m, geraram-se 7 condições diferentes de agitação: (i) espectro JONSWAP para ondas curtas irregulares, induzindo várias ondas infragravíticas (testes A1, A2 e A3, com alturas significativas de onda variando de 10 a 20 cm e períodos de pico de 1.6s e 2.25s); (ii) ondas curtas bicromáticas, permitindo o controlo da frequência das ondas infragravíticas (testes B1, B2 e B3, com diferentes amplitudes e frequências de grupo); e (iii) ondas monocromáticas com diferentes comprimentos de onda (testes C1 e C2, com períodos de onda de 23.8s e 2.25s).

Durante as experiências, obtiveram-se séries temporais da elevação da superfície livre e de velocidades do escoamento em diferentes secções, recorrendo a diversos instrumentos (Ruessink *et al.*, 2013). Neste trabalho analisam-se os dados das velocidades instantâneas obtidos por um anemómetro a raio laser. Este equipamento, denominado por LDA (Dantec Laser Doppler Anemometry), respeita uma técnica experimental baseada no efeito Doppler que, através da refração

de feixes de laser incidentes sobre o escoamento, possibilita a medição simultânea de várias componentes da velocidade num determinado ponto, com elevada resolução espaço-temporal (Figura 1).

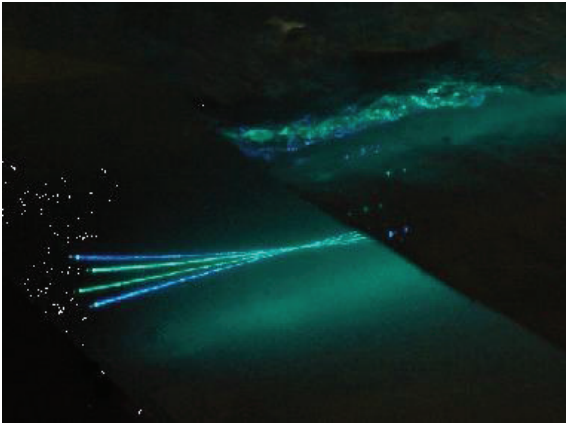


Fig. 1. Fotografia das experiências, mostrando os dois pares de feixe de laser do sistema LDA.

Para este estudo selecionaram-se os dados obtidos para o teste C2 (ondas monocromáticas), analisando-se as medições da componente horizontal da velocidade,  $u$ . Obtiveram-se medições em 30 elevações diferentes, proporcionando um perfil de velocidades de alta resolução nos primeiros 50 mm acima do fundo ( $z = 0$ ). A Figura 2 mostra médias de conjunto da velocidade orbital  $u$  medidas acima do fundo para algumas elevações  $z$ . As médias de conjunto foram obtidas dividindo-se cada ciclo da série temporal da onda em intervalos de fase de comprimento igual (equivalente a  $1/32s$ ) e aplicando uma ponderação do tempo de residência (van der A *et al.*, 2013). Observa-se que há uma constância da velocidade orbital acima da camada limite ( $z \geq 5$  mm), pois as velocidades a  $z = 20$  mm e  $z = 50$  mm são praticamente coincidentes. Como espectável, nota-se que, nos níveis mais próximos do fundo, a magnitude de  $u$  diminui e a fase se modifica. Van der A *et al.* (2013) evidenciam que, além das mudanças de magnitude e de fase, há também uma alteração das componentes harmónicas associadas às características assimétricas do escoamento no interior da camada limite de fundo, corroborando observações de experiências anteriores (v.g., Berni *et al.*, 2013).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Tensões de atrito

Para satisfazer a condição de não deslizamento no fundo, o escoamento experiencia fortes gradientes de velocidade junto ao fundo. Desta forma, produzem-se tensões tangenciais de atrito cujo conhecimento é importante para a mobilização e transporte de sedimentos.

Há várias formas de estimar as tensões de atrito com recurso a medições de velocidade efetuadas dentro da camada limite (Abreu *et al.*, 2013a). Por

exemplo, podem-se obter tensões de atrito ajustando o perfil vertical de velocidades a um perfil logarítmico (*log-fit method*), através do cálculo das tensões de Reynolds (*Reynolds stress methods*), ou por integração vertical do diferencial de velocidades instantâneas de um dado escoamento (*Momentum-integral method*). Cada um dos métodos assenta em diferentes pressupostos e requerem um especial cuidado na sua aplicação e posterior análise. Nielsen e Guard (2010) recomendam o método *Momentum-integral*, pois afirmam ser aquele que apresenta menor sensibilidade quanto ao conhecimento exato da posição do fundo ( $z = 0$ ). Por esse motivo, selecionou-se este método para a análise dos dados.

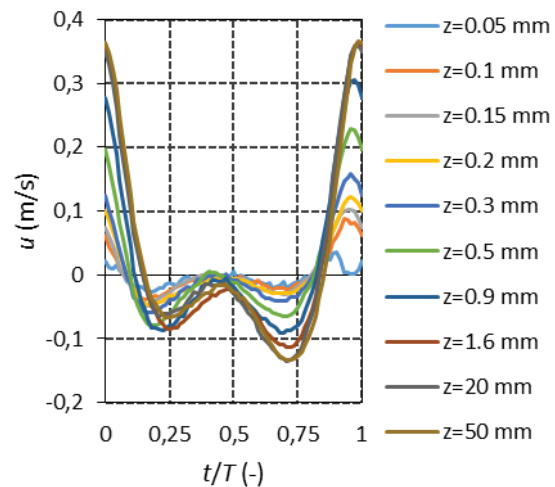


Fig. 2. Médias de conjunto da componente horizontal da velocidade orbital obtidas para diversas elevações no teste C2.

#### 3.2. Momentum-integral

Este método permite obter as tensões tangenciais para uma determinada elevação  $z$  (e.g., Nielsen, 1992):

$$\tau_{z,t} = \rho \int_z^{\infty} \frac{\partial}{\partial t} (u_{\infty} - u) dz, \quad (1)$$

onde  $\rho$  representa a massa volúmica do fluido e  $u_{\infty}(t)$  a velocidade acima da camada limite de fundo.

De acordo com Dick e Sleath (1991), é importante escolher um nível ( $z_d$ ) adequado para o limite superior de integração na Eq. (1), pois, acima da camada limite, a velocidade é praticamente constante. Nesses casos, isso resulta numa integração de valores praticamente nulos ( $u_{\infty} - u \approx 0$ ), mas, se existirem pequenas flutuações entre as medições, pode levar à introdução de erros numéricos nos resultados da Eq. (1) e, conseqüentemente, a cálculos menos precisos de  $\tau$ .

#### 3.2. Reconstrução de velocidades

Uma forma de ultrapassar a escolha do limite superior de integração pode passar pelo cálculo das

tensões de atrito usando um perfil fictício de velocidades. Com esse intuito, propõe-se que as tensões de atrito sejam calculadas a partir de uma reconstrução teórica das velocidades que é obtida por uma função adimensional complexa  $D_1(z)$  (Nielsen, 1992, Abreu *et al.*, 2013b):

$$u(z,t) = 1 - D_1(z) u_\infty(t), \quad (2)$$

e

$$D_1(z) = \exp\left(-1 + i \frac{z}{\sqrt{2\nu/\omega}}\right), \quad (3)$$

sendo  $\nu$  a viscosidade cinemática do fluido,  $\omega$  a frequência angular e  $i$  a parte imaginária dos números complexos.

Segundo Nielsen (1992), a função  $D_1(z)$  pode ser escrita por

$$D_1(z) = \exp\left(-1 + i \left(\frac{z}{z_1}\right)^{p_1}\right), \quad (4)$$

onde  $z_1$  representa uma escala de comprimentos associada ao decaimento vertical da velocidade e o parâmetro  $p_1$  está ligado aos gradientes da velocidade.

A introdução de  $D_1(z)$  na Eq. (1) leva a que esta possa ser reescrita pela seguinte expressão:

$$\tau(z,t) = \rho \frac{\partial u_\infty}{\partial t} \int_z^\infty D_1(z) dz. \quad (55)$$

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta os resultados da tensão tangencial junto ao fundo obtidos pela Eq. (1), considerando as médias de conjunto da velocidade medidas pelo LDA. Os resultados consideram diferentes limites superiores de integração ( $z_d = 10, 20, 30$  e  $50$  mm). Como limite inferior utilizou-se sempre a mesma elevação, correspondendo ao valor mais próximo do leito, i.e.,  $z = 0.05$  mm. Como, acima da camada limite ( $z \geq 5$  mm), as velocidades são praticamente idênticas, teoricamente, os resultados deveriam ser muito próximos. Contudo, pequenas diferenças nas medições de velocidades entre esses níveis levam à obtenção de resultados notoriamente distintos. Por exemplo, usando o limite superior  $z_d = 50$  mm, o valor máximo de  $\tau$  é cerca de 1,5 vezes superior ao obtido com  $z_d = 10$  mm. Sendo importante uma boa caracterização das tensões de atrito junto do fundo, subsiste a dúvida se algum dos resultados apresentados na Figura 3 é pouco afetado pelas flutuações das medições.

A utilização de filtros “passa-baixos” para suavizar (minimizar) as flutuações de  $u$  pode surgir como uma forma de correção dos cálculos. No entanto, a utilização de diferentes filtros de corte também pode comprometer os resultados finais.

Para complementar e ajudar a suprir as dúvidas levantadas, propõe-se o cálculo das tensões de atrito a partir de uma reconstrução teórica das velocidades (Abreu *et al.*, 2013b). Segundo essa metodologia, para o teste C2, obtém-se:

$$|D_1(z)| = \exp\left(-\left(\frac{z}{0.0092}\right)^{1.0}\right). \quad (6)$$

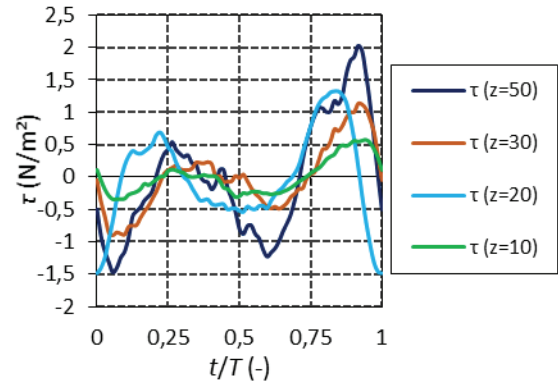


Fig. 3. Resultados de  $\tau$  obtidos pela Eq. (1), considerando velocidades do LDA. Indicam-se resultados utilizando como limites superiores de integração as elevações  $z = 10, 20, 30$  e  $50$  mm.

A conjugação da Eq. (4) com a equação (2), utilizando para  $u_\infty(t)$  as velocidades medidas a  $z = 50$  mm, permite obter um novo perfil de velocidades  $u(z,t)$ . Na prática, a nova metodologia baseia-se na construção de um perfil de velocidades a partir de  $u_\infty(t)$  que é afetado por uma função ( $D_1(z)$ ), introduzindo diferenças de magnitude e de fase para os níveis inferiores onde se pretende estimar  $u(z,t)$ . A vantagem em calcular  $\tau$  com as novas velocidades  $u(z,t)$  reside no facto de se evitarem as flutuações associadas às medições a diferentes níveis. A Figura 4 ilustra os resultados das tensões estimadas por esta metodologia. Sobreponham-se na figura os resultados obtidos na Figura 3, utilizando o limite de integração  $z = 30$  mm. Observa-se que a magnitude dos dois resultados é muito consonante, registando-se apenas uma diferença de fase entre os dois resultados. A diferença encontrada pode ser explicada atendendo à alteração de forma de  $u(z,t)$  dentro da camada limite. De acordo com Berni *et al.* (2013) as características não lineares da velocidade orbital modificam-se no interior da camada limite de fundo da onda: a assimetria da velocidade orbital acima da camada limite de fundo,  $Ass_u$ , reverte-se em *skewness* da velocidade junto ao fundo,  $Sk_u$ , induzindo valores diferenciais da tensão de atrito no fundo, correspondentes à passagem da crista e da cava da onda. Van der A *et al.* (2013) corroboram essa transformação para o teste C2. No entanto, como a metodologia de reconstrução de velocidades faz repercutir a forma de  $u_\infty(t)$  para todos os níveis, isto é, não tem em consideração a alteração dos parâmetros não lineares no interior da camada limite, conduz a às diferenças encontradas entre os resultados. Desta forma, as estimativas das tensões



de atrito utilizando o nível  $z = 30$  mm revelam-se as mais próximas da metodologia proposta.

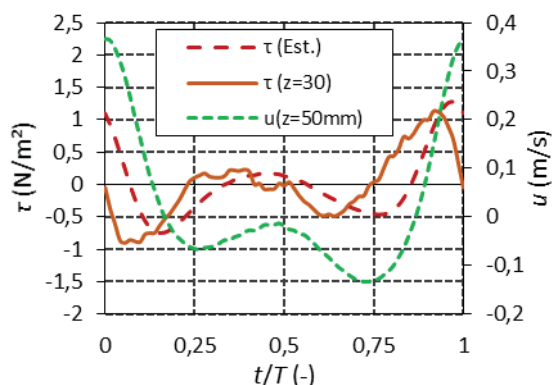


Fig. 4. Resultados de  $\tau$  obtidos pela Eq. (1), considerando as velocidades calculadas e as velocidades do LDA usando como limite superior  $z=30$  mm.

## 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho estimam-se as tensões de atrito junto ao fundo com recurso a medições detalhadas de velocidade dentro da camada limite de fundo, recorrendo a um anemómetro a raio laser. O método *Momentum-integral* é utilizado para inferir as tensões de atrito e explora-se a sensibilidade dos resultados quanto à consideração de velocidades a diversos níveis acima da camada limite. Observa-se que a adoção de diferentes limites superiores de integração dessa metodologia induz resultados diferentes.

Para obviar possíveis erros numéricos associados ao cálculo usando as velocidades medidas, propõe-se que se recorra à reconstrução teórica das velocidades o cálculo das tensões de atrito recorrendo. Embora a velocidade sintetizada não reproduza as transformações de características não lineares da velocidade dentro da camada limite, a nova metodologia auxilia a avaliação das magnitudes espectáveis das tensões.

## Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado por fundos europeus, através do COMPETE e por fundos nacionais através da Fundação Ciência Portuguesa (FCT) no âmbito dos projetos PEst-C/MAR/LA0017/2013 e PTDC/CTE-GIX/111230/2009 (EROS). O trabalho experimental no projeto GLOBEX foi apoiado pela subvenção concedida à iniciativa de infraestruturas integradas HYDRALAB IV, Contrato n. 261520, pelo Sétimo Programa-Quadro da Comunidade Europeia.

## REFERÊNCIAS

- Abreu, T., Michallet, H., Silva, P.A., Sancho, F., van Der A, D.A. e Ruessink, B.G. (2013a). Bed shear stress under skewed and asymmetric oscillatory flows. *Coastal Engineering*, 73, 1-10.
- Abreu, T., Silva, P.A., Sancho, F., e Michallet, H. (2013b). Use of the velocity defect law to assess sand transport rates. *Journal of Coastal Research*, SI 65, 1485-1490.
- Berni, C., E. Barthélemy, e Michallet, H. (2013). Surf zone cross-shore boundary layer velocity asymmetry and skewness: an experimental study on a mobile bed. *Journal of Geophysical Research*, 118, doi:10.1002/jgrc.20125.
- Dick, J.E., e Sleath, J.F.A. (1991). Velocities and concentrations in oscillatory flow over beds of sediment. *Journal of Fluid Mechanics*, 233, 165-196.
- Dong, L.P., Sato, S., e Liu, J. (2013). A sheetflow sediment transport model for skewed-asymmetric waves combined with strong opposite currents. *Coastal Engineering*, 71, 87-101.
- Nielsen, P., e Guard, P. (2010). Vertical scales and shear stresses in wave boundary layers over movable beds. *Proceedings 32nd International Conference on Coastal Engineering*, Shanghai, China.
- Nielsen, P. (1992). *Coastal bottom boundary layers and sediment transport*. Advanced Series on Ocean Engineering, vol. 4. World Scientific. 324 pp.
- Ruessink, B.G., Michallet, H., Bonneton, P., Mouazé, D., Lara, J., Silva, P.A., e Wellens, P. (2013). GLOBEX : Wave dynamics on a gently sloping laboratory beach. *Proceedings of the 7th International Conference on Coastal Dynamics 2013*, Arcachon, França.
- Silva, P. A., Abreu, T., van der A, D. A., Sancho, F., Ruessink, B. G., van der Werf, J., e J.S., R. (2011). Sediment transport in nonlinear skewed oscillatory flows: Transkew experiments. *Journal of Hydraulic Research*, 49(1), 72-80.
- van der A, D.A., Mouazé, D., Vignal, L., Silva, P.A., Abreu, T., Barthélemy, E., e Michallet, H. (2013). Wave boundary layer dynamics on a low sloping laboratory beach. *Proceedings of the 7th International Conference on Coastal Dynamics 2013*, Arcachon, França.

## Hydrographic Institute contribution for the COMIC Ghent University cruise on Moroccan and Iberian Margins

I. Martins (1), T. Vadorpe (2), J. Vitorino (1) and D. Van Rooij (2)

(1) Instituto Hidrográfico (1). marina.martins@hidrografico.pt

(2) RCMG, Ghent University

**Abstract:** In May/June 2013, the Instituto Hidrográfico (IHPT) joined a multi-disciplinary survey off the NW Moroccan Atlantic Margin, on board of the R/V “Belgica”. This cruise (labeled “COMIC - Comparative study of Plio-Pleistocene contourite drift evolution along the Moroccan and Iberian margins of the Gulf of Cadiz”) focused, among others, on the sedimentary and palaeoceanographic history of the southern Gulf of Cádiz, specifically the region around the Pen Duick escarpment. These goals were primarily achieved by acquiring high resolution single channel sparker seismic profiles. The present work focuses on the IH contribution to this cruise, which comprised the collection, processing and analysis of hydrographic measurements with a CTD probe and current profiles with both Lowered and Vessel Mounted ADCPs. This data set can highlight the physical oceanography of the study area, in particular the processes acting over the seafloor.

**Key words:** Pen Duick escarpment, Seafloor physical processes, Moroccan margin

### 1. INTRODUCTION

The El Arraiche mud volcano field is located in NW Moroccan margin. It consists of 8 mud volcanoes in water depths between 200m and 700m (Van Rensbergen et al, 2005). These are geologic features where sub-bottom fluids can emerge and contribute to specific marine ecosystems. The physical oceanography of the geographic region where the MV field is inserted is largely unknown due to lack of dedicated observational campaigns. In the scope of a European project, HERMIONE (FP7), IHPT conducted in June 2009 a multidisciplinary cruise (IHPT2009-HERM2) focusing the observation of the oceanographic conditions on the NW Moroccan Atlantic Margin, with particular emphasis on the El-Arraiche mud volcano (EA MV) field. The physical oceanography observations included short-term (10 days) currentmeter mooring measurements at 3 positions along the slope (one of which located over the EA MV field) and CTD/Lowered Acoustical Doppler Current Profiler (LADCP) coverage of the global area complemented with Vessel Mounted ADCP (VMADCP) measurements. This data set, combined with numerical model simulations, is being used to build a thorough view of the general circulation and water mass distribution in the NW Moroccan margin and EA-MV field in June 2009 (Vitorino et al, in prep; Martins & Vitorino, in prep). In May/June 2013, IHPT joined a multi-disciplinary survey off the NW Moroccan Atlantic Margin, on board of the R/V “Belgica”, labeled “COMIC - Comparative study of Plio-Pleistocene contourite drift evolution along the Moroccan and Iberian margins of the Gulf of Cadiz”. The work program of this survey included the conduction of several seismic lines in the EA-MV field and PDE (figure 1).

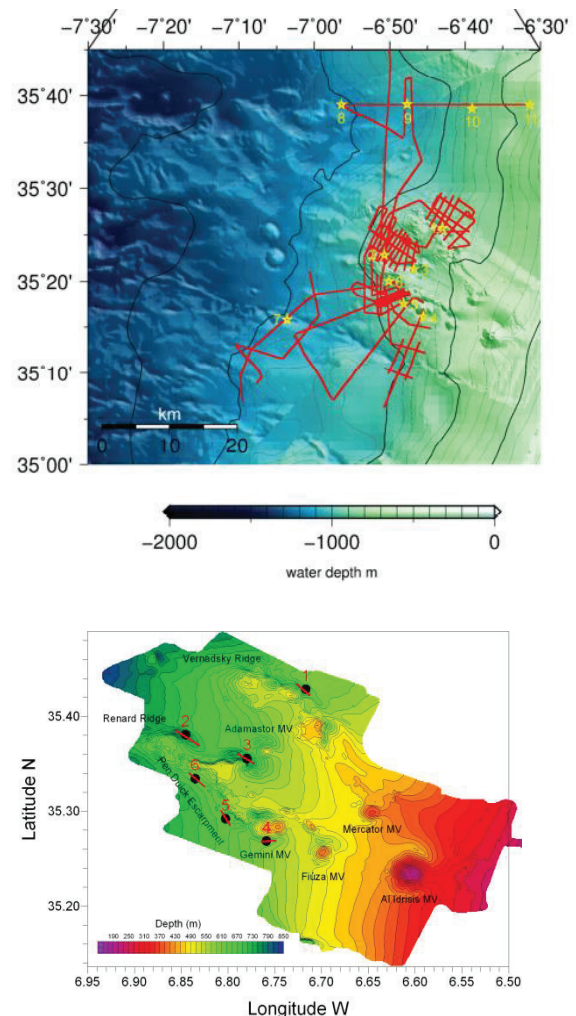


Fig. 1. Top panel: Map of seismic lines (red) and CTD/LADCP stations (yellow stars) acquired at Pen Duick region (RV Belgica 2013/16 Cruise report). Bottom panel: Detailed bathymetric map of EA MV field (provided by UGhent), with position of CTD/LADCP stations discussed in this paper (with exception of station 7) and along-topography direction at each station location.

IHPT participation aimed not only to extend the data set of physical oceanography measurements available for this area, and by so to contribute to improve our understanding of the processes playing a role there, but also intended to evaluate the added value of including some of the observation methods that IHPT presently uses (LADCP and VMADCP) as contributions to a mission that was not dedicated to the physical oceanography component, in an opportunistic perspective.

## 2. DATA

Following the general perspective stated above, IHPT contribution to COMIC cruise comprised the conduction of 10 CTD/LADCP profiles (fig 1) at chosen positions between the seismic lines. At each of these positions the CTD/LADCP data was complemented with VMADCP measurements. Although in limited number, the CTD/LADCP stations were selected so that they could provide some insight on the physical processes acting on the study area and to test a few hypothesis that are presently being jointly discussed between IHPT and UGhent regarding this geographical area. These few stations also provide an excellent opportunity to somehow test this type of collaboration and approach.

The LADCP system used consisted in a 300 kHz broadband RDI ADCP from IHPT, installed in a downward looking configuration and mounted in the lower frame of the R/V “Belgica” Rosette/CTD structure (fig. 2). The ADCP was configured to operate with 45 cells of 5m each, an ensemble interval of 2s with 3 pings per ensemble. This configuration allowed to reach 91m of maximum range, a blank distance of 1.76m and 1.64cm/s of standard deviation.

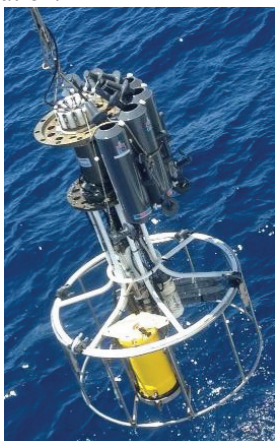


Fig. 2. Rosette/CTD/LADCP structure used on the cruise

Data was processed with LDEO LADCP processing software, developed by Martin Visbeck, using the velocity inversion method (Visbeck, 2002; Thurnherr, 2011).

The VMADCP installed onboard R/V “Belgica” was a 300 kHz broadband RDI Workhorse and data was collected with VmDAS RDI’s software running on Windows. The frequency of the VMADCP system did not allow the current profiles collected by this system to reach the bottom depths on the EA MV field and Pen-Duick Escarpment area. For this reason no VMADCP transects were done during the survey. The VMADCP was used only during the CTD/LADCP casts, to provide additional information of the near surface current velocity. The LADCP processing method allows this additional information to be used as a constraint, improving the LADCP current profile in the surface layers where the current error is higher.

The R/V “Belgica” CTD unit used in the cruise integrated a Seabird SBE 9 plus CTD probe, of equipped with pressure, temperature, conductivity and dissolved oxygen sensors, which was coupled to a General Oceanic rosette firing system equipped with 12 sampling bottles of 10 litre each.

## 3. RESULTS

With the CTD data collected on the PDE and EA MV field a  $\theta$ -S diagram was drawn (fig 3) that shows evidences of the main water masses affecting this area. Below the levels of influence of North Atlantic Central Water (subtropical component in orange and subpolar component in green), this diagram shows the presence of high salinity Mediterranean Water (MW) in the CTD/LADCP stations located offshore (station 7) and north (station 1) of the EA MV and PD area, which is revealed by the high salinity values that occur at depths below 600m (dark red/gold colours in fig 3).

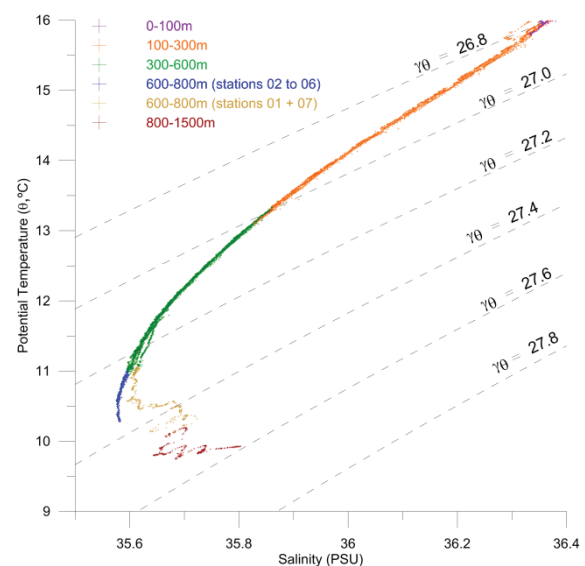


Fig. 3.  $\theta$ -S diagram of the COMIC2013/16 CTD stations. The colour indicates the depth range. Two colour options were used to depth range 600-800m to highlight different water mass in the study area. The data collected in the upper 100m is excluded for better identification of intermediate water masses.



In the stations along the slope, however, the CTD data shows the presence of a salinity minimum at about 800m. This salinity minimum reflects the influence of waters with contributions of Antarctic Intermediate Water (AAIW, in blue/dark blue colours). The presence of this water mass along the northern Morocco area was previously suggested by several authors (Machín and Pelegri, 2008; Cabecadas et al., 2003). It also emerges from the analysis of the data collected by IHPT during the cruise conducted in 2009., which shows the existence of a poleward slope current along the NW Moroccan slope transporting to the EA MV field area, at intermediate depths, low salinity water with characteristics of AAIW contribution (Vitorino et al, in prep; Martins & Vitorino, in prep).

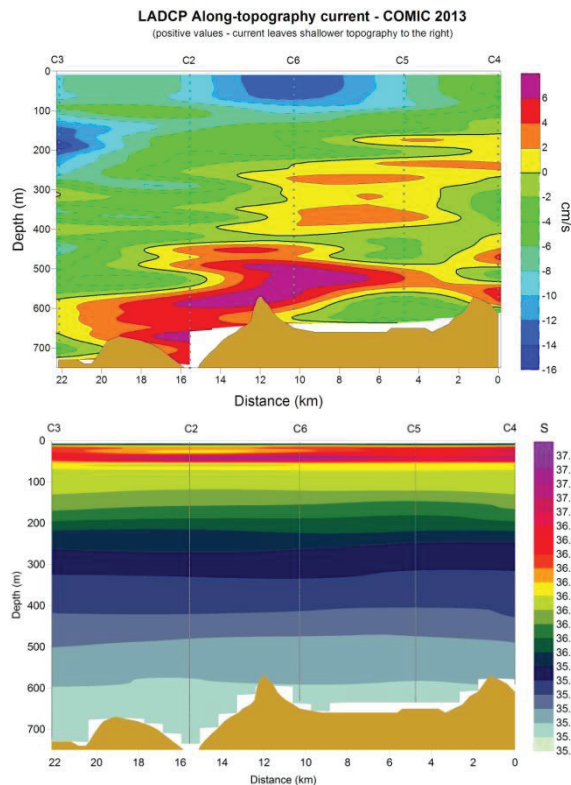


Fig.4 LADCP current (above) and salinity (below) sections along topography of COMIC 2013 stations 4, 5, 6, 2 and 3.

Further insight on the deep slope circulation around the PDE and EA MV field is provided by the LADCP data collected during the COMIC cruise. Figure 4 shows the along topography current measured by the LADCP following a section that extends along the PDE and Renard Ridge bases. To construct this section, the LADCP current profile was decomposed in a coordinate system with axis aligned along and across the local topography (see figure 1 for along topography directions). The along-topography current was taken as positive when flowing in the direction that leaves shallower topography to the right.

The LADCP profile corresponds to an instantaneous image of different processes (e.g subinertial currents, internal tides and waves) with different time and spatial scales, that all add to build the total current profile. Additional observations (e.g currentmeter measurements, repeated CTD/LADCP casts) are required to evaluate the role of each one of these contributions.

However, the penetration of the AAIW water along the slope that was expressed in the CTD profiles is consistent with the presence of a poleward slope circulation that continues along the PDE flank. So the image build with this data and presented in the along topography section of figure 4 is likely to express in large measure the subinertial flow along the PDE and Renard Ridge area. If so, then figure 4 shows a bottom current flowing along the PDE in roughly the NW direction, from station 4 to 6. This flow seems to continue along Renard Ridge, from station 2 to 3, in direction towards the Adamastor MV, extending inside the EA MV field. Although for representation our section assumes the continuity between station 6 and 2, care must be taken in interpreting the data in this region. A more likely suggestion is that the bottom current progresses to the northern tip of PDE and then turns into the Renard Ridge.

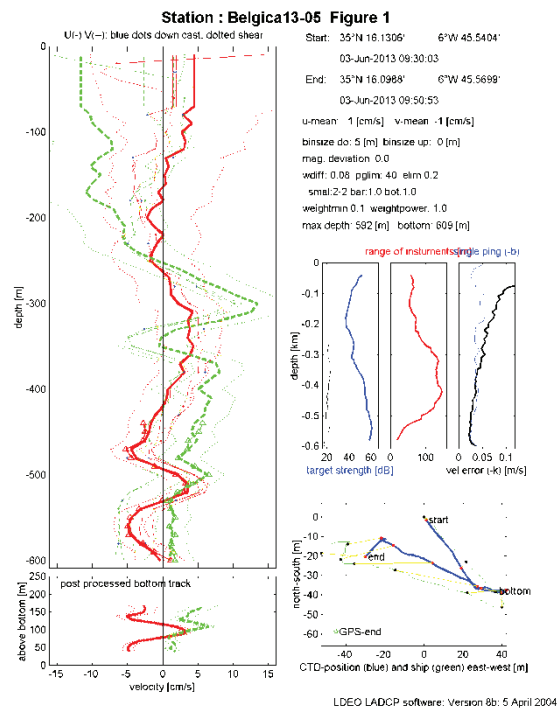


Fig.5 LADCP eastward (red) and northward (green) velocities of COMIC 2013 stations 5.

Only at station 5 was a reverse in the bottom circulation observed (figs 4 and 5). If the LADCP is indeed reflecting the low frequency flow along the PDE flank, one interpretation for this reverse flow near the bottom could be a recirculation promoted



locally be the overshoot of the current in this area where the bottom shows a curvature.

An example of the capacities of the LADCP processing software used is presented in figure 5, which corresponds to the processing of data collected in station 5. Besides the presentation of the full solutions of velocities with error bars, the processing also provides a comparison with the current solution calculated with the (alternative) shear method, and the bottom-track solution. As an evaluation of the bottom track procedure, the processing also displays a comparison of the ship and instrument drift during cast (bottom-left). Additional information on target strength, range and error profiles are displayed at the centre right of the figure while metadata is presented on top right.

#### 4. CONCLUSIONS

The data collected during the COMIC2013/16 cruise shows, among other aspects, that water with AAIW contribution is found along the Pen Duick Escarpment (PDE) and along the Renard Ridge in the direction to Adamastor MV. This result brings additional details to our understanding of the physical processes that affect the EA MV field, which is emerging from the combined use of data collected by IHPT in June 2009 and numerical models (Martins e Vitorino, in prep; Vitorino et al, in prep)

The present work shows that it was possible to get important physical oceanography information from a few set of observations conducted during a non-dedicated campaign, in an opportunistic basis. The choice of methods used (LADCP and VMADCP combined with CTD casts) allow to include these observations in the cruise work program without compromising any of the main objectives while, at the same time, optimises the observation by providing a large range of physical parameters. The data collected in this way revealed to be extremely important to combine with and extend the data collected in previous dedicated cruise, allowing to increase the understanding of the physical process and to build the “big picture”.

In the future, the contribution that IHPT can bring to such non-dedicated surveys can be enlarged to include also the deployment of short term moorings with currentmeters and the used of CTD equipped with turbidity sensors. Also the use of a 38kHz VMADCP system, would allow to conduct transects covering the complete water column in the study area. These different methods of observation would allow to increase the insight on the physical process involved and to provide details on the local conditions in specific areas like the Pen Duick Escarpment and surrounding regions. But, at the same time, they are sufficiently flexible to be included in the work plan without implying any

particular requirements of additional cruise time and without conflicting with the main goals of the survey.

#### Acknowledgements

First author would like to thank to Prof. Dr. David van Rooij the opportunity of cruise collaboration.

#### REFERENCES

- Cabeçadas, G., M.J. Brogueira and C. Gonçalves (2003). Intermediate water masses off south-southwest Portugal: chemical tracers. *Journal of Marine Research*, 61, 539-552.
- Machín, F. and J.L. Pelegrí (2008). Northward penetration of Antarctic Intermediate Water off Northwest Africa. *Journal of Physical Oceanography*, 39, 512-535.
- Martins, I. and J. Vitorino. (In prep). Oceanographic conditions affecting the NE Atlantic margin of Morocco in June 2009. Part 2: Physical processes affecting the El-Arraiche Mud Volcano field.
- Rooij, D., and Vandorpe, T. (2013). RV Belgica 2013/16 Cruise report. *Management Unit of the North Sea Mathematical Models*.
- Thurnherr, A. M. (2011). *How to Process LADCP Data with the LDEO software (version IX.7)*, 32.
- Van Rensbergen, Pieter et al; (2005). The El Arraiche mud volcano field at the Moroccan Atlantic slope, Gulf of Cadiz. *Marine Geology*, 219, 1-17.
- Visbeck, M. (2002). Deep velocity profiling using lowered acoustic Doppler current profilers: Bottom track and inverse solutions. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 19; 794-807.
- Vitorino, J., I. Martins and C. Borges. (In prep). Oceanographic conditions affecting the NE Atlantic margin of Morocco in June 2009. Part 1: Shelf and Slope circulation.

# Análise de correntes marítimas de superfície medidas com radares de alta frequência na área de Sines durante o verão de 2008

R. Vicente<sup>(1)</sup> e P. Oliveira<sup>(2)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico. [pires.vicente@hidrografico.pt](mailto:pires.vicente@hidrografico.pt)

(2) Instituto Português do Mar e da Atmosfera,

**Resumo:** A variabilidade espaço-temporal das correntes costeiras de superfície a sul de Sines é analisada neste trabalho, utilizando medições *in situ* e de deteção remota realizadas no verão de 2008. O IH tem implementado um projeto de monitorização das correntes marítimas de superfície na costa portuguesa, onde o projeto SIMOC contou com dois radares HF instalados em Sines e no Cabo Sardão. Cumulativamente, no âmbito do projeto *Very Near*, esteve fundeado um ADCP numa posição a sul do porto de Sines na isóbara dos 12m. Os resultados mostram a capacidade do sistema HF para mapear a corrente sobre a plataforma continental ao largo da linha de base entre antenas. Em contrapartida, os resultados testemunham a diferença expressiva entre eventos locais nas correntes próximo da costa a sul do Cabo de Sines, alertando para a dependência da fiabilidade das correntes estimadas com o sistema HF relativamente à localização das antenas.

**Palavras-chave:** Correntes marítimas, antena de alta frequência, radar HF, deteção remota, Sines.

## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das correntes marítimas é fundamental para a gestão adequada do meio marinho, salvaguarda da segurança da navegação e das atividades portuárias. Entre os meios atualmente disponíveis, os radares de alta frequência (HF – *High Frequency*) assumem um papel de destaque, pela sua capacidade de obter informação acerca das correntes de superfície na zona costeira, com alta resolução espacial e em tempo quase real.

Na fase piloto do Sistema de Monitorização Operacional de Correntes Costeiras (SIMOC) do Instituto Hidrográfico (IH), foram instalados em 2008 dois radares de alta frequência em Sines e no Cabo Sardão. Paralelamente, no âmbito do Projeto *Very Near*, o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) procedeu à instalação de um correntómetro acústico (ADCP - *Acoustic Doppler Current Profiler*) para medição da corrente próximo da costa.

O presente estudo visa analisar os dados de correntes medidas por este sistema HF através da comparação com medições do ADCP realizadas no verão de 2008.

## 2. RECOLHA DE DADOS

Conforme descrito em Fernandes e Agostinho (2008), o sistema de antenas de alta frequência edificado em Sines em 2008 consiste de dois radares HF colocados no molhe de Sines e no Cabo Sardão. A frequência central de operação é 12 MHz e o alcance nominal é cerca de 75 km. A resolução espacial é de 2,34 km e a angular é de 5°.

O trabalho de Fernandes e Agostinho (2008) salienta ainda a elevada distorção verificada no processo de calibração das antenas, em grande parte devido a interferências magnéticas de estruturas metálicas na

área de Sines. De igual forma, o ruído diurno detetado e a ocupação indevida da largura de banda mascaram, por vezes, os picos Bragg de 1ª e 2ª ordem.

A Figura 1 mostra a área de estudo, a localização e cobertura (vetores) das antenas HF, a linha de base e a posição do ADCP.

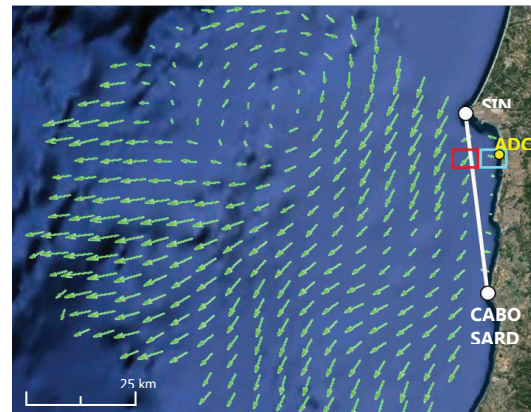


Figura 1. Localização dos radares HF (branco) e do ADCP (amarelo). Linha de base a branco e cobertura de vetores totais a verde. Células de vetores totais (caixas vermelha e azul) utilizados na comparação entre o sistema HF e o ADCP (implantado em Google Earth)

O ADCP WH-1200 KHz foi fundeado junto à praia da Oliveirinha, na posição (WGS 84) 37,887° N - 8,804° W, próximo da isóbara dos 12 m. Na configuração utilizada o equipamento obteve dados do perfil da corrente com uma resolução vertical de 0,5 m (*bin size*) e um intervalo entre registos (*ensemble*) de 1 minuto obtidos com uma taxa de 50 pulsos (*pings*) por registo, a que corresponde um desvio padrão estimado de 0,86 cm/s. O período de observação foi entre 24 de julho e 10 de setembro de 2008, com uma interrupção de 5 a 18 de agosto, devido a problemas de estabilidade na estrutura de fixação da amarração. Para efeitos de comparação

com os dados do sistema HF, o valor médio da corrente medida pelo ADCP, na camada entre 0,5 e 1,0 m de profundidade, foi filtrado com um filtro Lanczos com um período de corte (período para o qual o filtro atinge 0,5 da amplitude) de 1 hora.

### 2.1. Comparação dos vetores totais

Os dados de corrente à profundidade de 0,75 metros da superfície são extraídos do ADCP e comparados com as correntes marítimas medidas pelas antenas HF, cuja profundidade de influência não se estende para além do primeiro metro da coluna de água, tendo em conta a frequência de operação 12 MHz (Stewart e Joy, 1974).

### 2.2. Comparação dos vetores radiais

Os vetores de velocidade da corrente radial medida pelas estações HF, mais próximos da posição do perfilador acústico, são comparados com as velocidades lidas no ADCP. Para tal, calcula-se a projeção da velocidade total do ADCP na direção de cada antena,  $Radial_{ADCP}$ , utilizando-se o produto interno (Equação 1) onde  $\vec{U}$  é o vetor velocidade do ADCP e  $\vec{r}$  a direção da antena HF (Paduan *et al.*, 2006).

$$Radial_{ADCP} = \frac{\vec{r} \cdot \vec{U}}{|\vec{r}|} \quad (1)$$

## 3. RESULTADOS

A Figura 2 ilustra a velocidade média da corrente de superfície medida pelo sistema HF de Sines, durante o período em que o ADCP esteve fundeado.

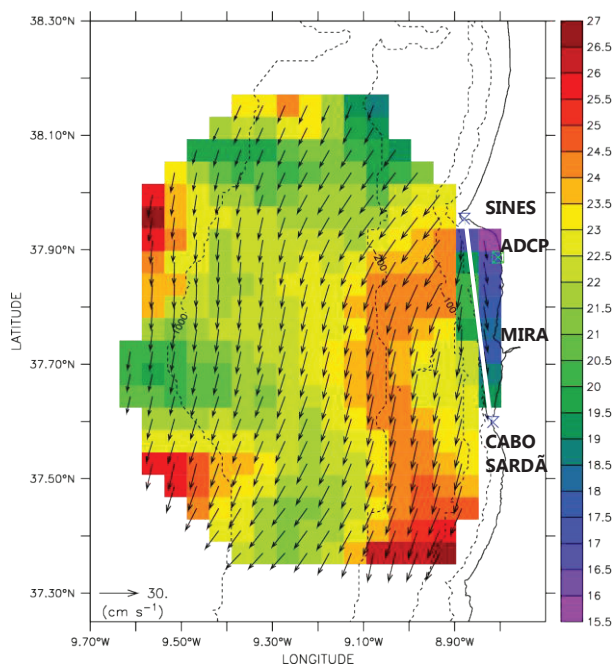


Figura 2. Velocidade média da corrente de superfície (cm/s) medida com o sistema HF no período de 24 de julho a 10 de setembro de 2008. O traço a branco indica a linha de base. As linhas a tracejado representam as isóbatas dos 50, 100, 200 e 1000m.

A distribuição espacial da intensidade média da corrente, representada a partir das cores atribuídas às células do sistema HF, mostra que as correntes mais fracas se encontram nas vizinhanças da linha de base e na faixa costeira interior. As intensidades mais elevadas encontram-se entre as isóbatas dos 100 e 200m, estendendo-se desde o cabo de Sines, no paralelo 37,9° N, até ao limite sul do alcance do sistema HF, na latitude 37,35° N. O padrão da direção das correntes médias mostra a separação do jacto costeiro de afloramento no cabo de Sines onde a corrente cruza a batimetria na direção SW, ajustando-se à direção da batimetria mais para sul. Entre o cabo Sardão e a foz do rio Mira, entre as batimétricas dos 50 e 100 m, verifica-se um mínimo relativo da intensidade da corrente, possivelmente associado à separação do jacto costeiro em Sines. Nas células contíguas à linha de base a direção da corrente apresenta um padrão divergente, principalmente a norte da foz do Mira, possivelmente por ser uma zona de sombra da antena colocada no cabo Sardão.

A tarefa de comparar a velocidade da corrente medida pelo ADCP com as correntes marítimas geradas pelo sistema HF é dificultada pela disposição das antenas e pela resolução espacial.

O ADCP encontra-se numa zona de sombra relativamente à antena do Cabo Sardão, ficando fora da grelha dos dados radiais HF. Por outro lado, a informação radial medida pelos radares costeiros mais próxima da posição do ADCP está nas proximidades da linha de base. A linha de base é uma linha imaginária que une duas antenas HF, sob a qual qualquer soma vetorial é conceptualmente fraca já que os vetores radiais são praticamente paralelos.

Neste contexto, a velocidade de superfície do ADCP projetada na radial da antena é comparada com a velocidade radial do radar mais próxima, correspondendo a uma distância de cerca de 6 km. A Figura 3 compara a informação radial do sistema HF para o período de 19 a 29 de agosto de 2008. Constata-se uma sobrestimação da intensidade radial da corrente dos radares HF face à velocidade do correntómetro projetada na direção de cada antena, sendo o enviesamento médio absoluto para o radar de Sines de 12 cm/s e para o radar do Cabo Sardão de 11 cm/s. O sentido da corrente radial é expresso pelo sinal da velocidade. Para os vetores velocidade que se aproximam da estação HF o sinal é positivo e para os que se afastam é negativo. Sendo assim, para a região entre as duas estações, verifica-se que a corrente radial estimada a partir de ambas as estações HF sobrestimam a componente da corrente para sul.



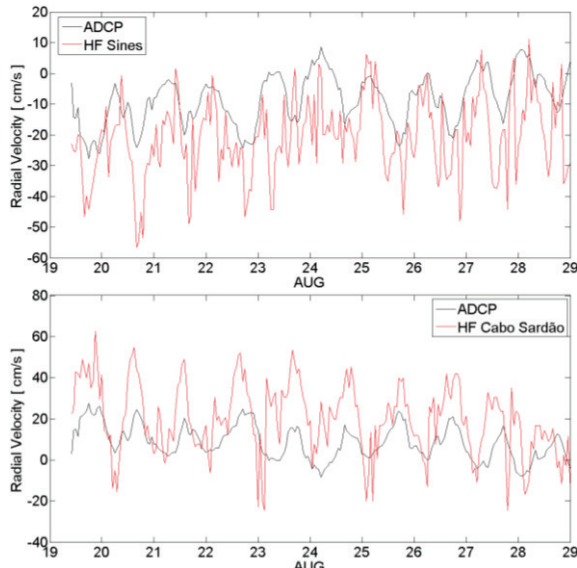


Figura 3. Velocidade radial (cm/s) do radar HF a vermelho vs ADCP a negro, no período de 19 a 29 de agosto de 2008. Em cima HF Sines com enviesamento de 12 cm/s e em baixo HF Cabo Sardão com enviesamento de 11 cm/s

O diagrama de dispersão da Figura 4 compara a velocidade radial da estação HF de SARD com a velocidade medida pelo ADCP projetada na direção da antena, para toda a série temporal.

A melhor reta ajustada aos dados (linha vermelha) apresenta um coeficiente de determinação de 16%, um declive de 0,73 e a interseção no eixo dos yy em 12,5 cm/s. O RMS é 18,2 cm/s e o coeficiente de correlação é 42%.

A Tabela I mostra os resultados obtidos na comparação das velocidades totais e radiais dos radares HF de Sines e do Cabo Sardão com a velocidade projetada do ADCP na direção de cada radar para o período de estudo.

O espaçamento da grelha dos vetores totais HF é 4,34 km abrangendo a posição do ADCP.

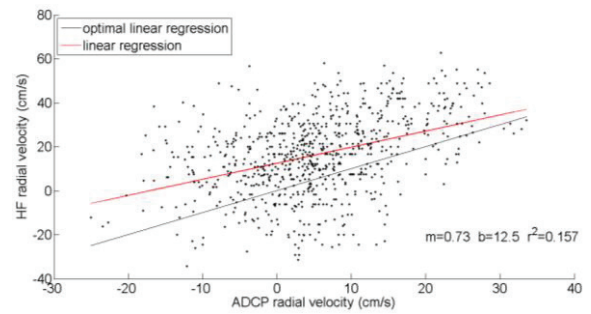


Figura 4. Regressão linear da velocidade radial (cm/s) HF de SARD vs ADCP, no período de 25 de julho a 9 de setembro de 2008. Reta de regressão linear ótima a negro e melhor reta ajustada aos dados a vermelho

O diagrama da Figura 5 compara os vetores da corrente total medida pelo ADCP e pelo sistema HF, nas duas células identificadas a vermelho e azul na Figura 1. Os vetores a azul representam uma célula próxima de costa que contém a posição do ADCP e a vermelho uma célula mais afastada de costa.

Tabela I. Comparação estatística entre as correntes radiais e totais das estações HF e do ADCP para o período 24 de julho a 9 de setembro de 2008

Site	Coef Corr	RMS (cm/s)	declive	Interseção (cm/s)	r <sup>2</sup>	# obs
Radial SINE	0,47	16,25	0,62	- 13,2	0,22	789
Radial SARD	0,42	18,2	0,73	12,5	0,16	784
Totais	0,52	10,25	0,80	7,4	0,27	748

Neste período, o correntómetro deteta uma inversão da corrente que não é detetada pelo sistema HF. De facto, o sistema HF mede claramente o relaxamento da intensidade mas não capta a alteração do sentido do fluxo. O motivo da desconexão neste período é ainda desconhecido, podendo estar associado a uma descalibração do sistema HF face a perturbações eletromagnéticas ou a uma resolução inadequada face à escala e localização do fenómeno de relaxamento registado.

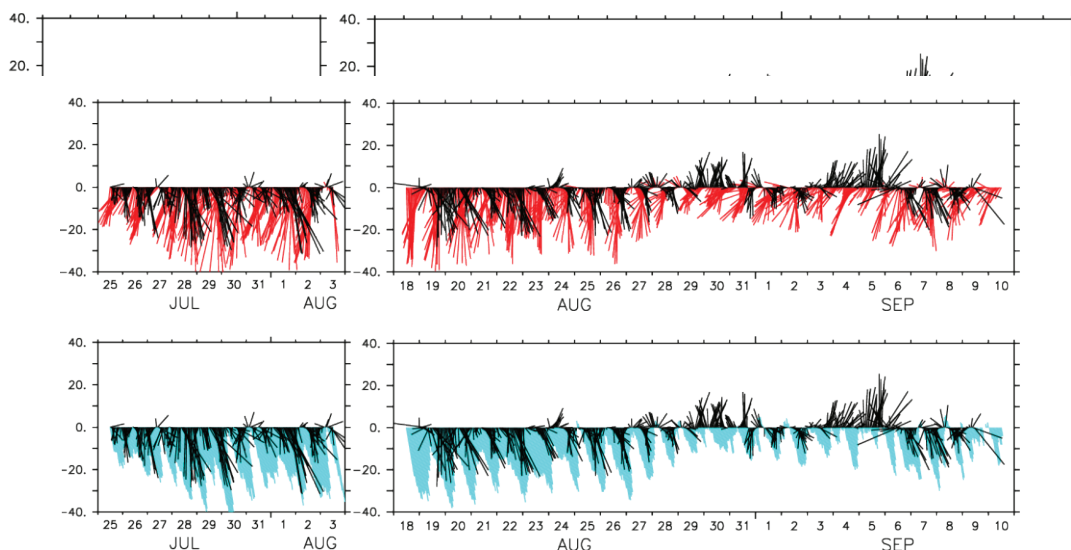


Figura 5. Diagramas vectoriais da corrente medida com o ADCP (negro) e a corrente HF total nas duas células contíguas (mais ao largo a vermelho e mais costeira a azul) nos períodos de 25 de julho a 3 de agosto e de 18 de agosto a 9 de setembro de 2008



Salvaguardando que as células próximas do ADCP se encontram nas imediações da linha de base, a intensidade da corrente total medida pelo sistema HF, é geralmente superior. A Tabela I apresenta um RMS de 10,25 cm/s e um coeficiente de correlação de 52%. A direção da corrente, medida por ambos os sensores, é quase sempre para o quadrante sul, exceto no período 29 de agosto a 6 de setembro.

A Figura 6 mostra as diferenças da velocidade total da corrente captada pelos radares HF e pelo ADCP, no período de 24 de julho a 4 de agosto de 2008, onde se verifica um enviesamento da velocidade de 9,1 cm/s.

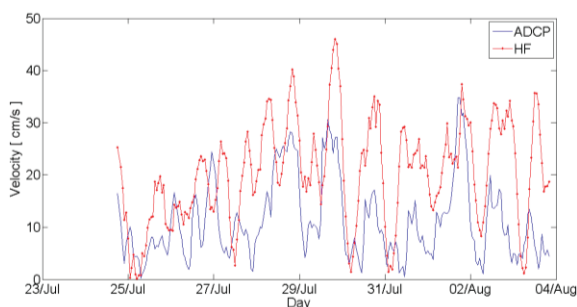


Figura 6. Velocidade total (cm/s) do sistema HF a vermelho vs ADCP a azul, no período de 24 de julho a 4 de agosto de 2008.

#### 4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentam-se os resultados da observação de correntes na região de Sines, caracterizada por uma elevada variabilidade espaço-temporal resultante do afloramento costeiro associado ao regime de nortada durante o verão, seguido de períodos de relaxamento com inversão do fluxo da corrente (Relvas *et al.*, 2007).

Para além da variabilidade directamente associada ao forçamento do vento, a ondulação predominante do quadrante norte promove, na faixa costeira, uma corrente de deriva litoral que corre no sentido sul exceto nos períodos em que a direção da ondulação se inverte (Costa *et al.*, 2001).

A análise realizada permite identificar alguns padrões dessa variabilidade, em particular a existência de uma diferença significativa da intensidade da corrente costeira numa zona de águas pouco profundas e na faixa entre as isóbatas dos 100 e 200 m entre Sines e o Cabo Sardão.

Os resultados evidenciam uma sobrestimação das velocidades radiais lidas pelas estações HF. Apesar da região em estudo se encontrar nas proximidades da linha de base, também a velocidade total da corrente gerada pelo sistema HF é, em regra, superior às leituras da intensidade da corrente registada pelo ADCP.

O ADCP encontra-se numa área costeira onde a combinação entre a resolução espacial e a disposição das antenas do sistema HF instalado em Sines, durante o projeto SIMOC, não permite obter a melhor geometria para gerar informação acerca das correntes marítimas de superfície.

Tendo em conta o elevado movimento portuário, onde se incluí o transporte de hidrocarbonetos, e a importância da monitorização das correntes de superfície em caso de derrame, recomenda-se que a fase de implantação definitiva dos radares HF contemple, tanto quanto possível, uma solução que permita eliminar a zona de sombra existente entre Sines e o rio Mira. A opção por uma geometria bistática poderá estender as capacidades do sistema HF de Sines, melhorando a resolução espacial e aumentando a cobertura.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Hidrográfico pela disponibilização dos dados HF e ao Projeto *Very Near* (POCI/MAR/57630/2004) financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

#### REFERÊNCIAS

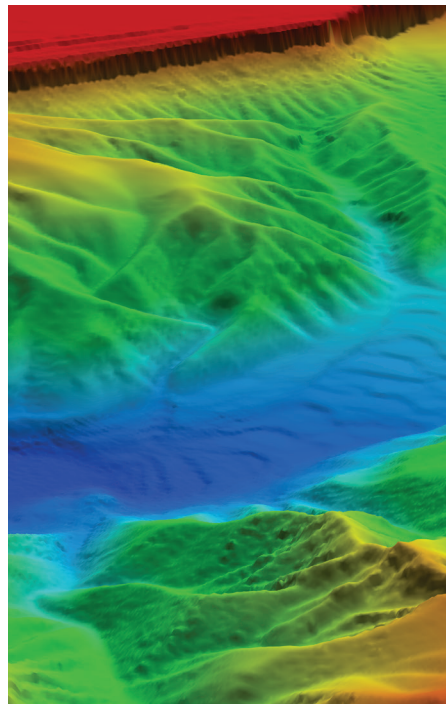
- Costa, M., Silva, R. e Vitorino, J. (2001). Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. *Atas das 2<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Costeira e Portuária*, Associação Internacional de Navegação, Sines, Portugal.
- Emery, B.M., Washburn, L. e Harlan, J.A. (2004). Evaluating Radial Current Measurements from CODAR High-Frequency Radars with Moored Current Meters. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 21 pp. 1259-1271.
- Fernandes, C. e Agostinho, P. (2008), The Sines HF Radar Experience: Analysis of the results. *9<sup>th</sup> Littoral Conference*, Venice.
- Paduan, J.D., K.C. Kim, M.S. Cook, e F.P. Chavez, (2006). Calibration and validation of direction-finding high frequency radar ocean surface current observations. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, pp. 862-875.
- Relvas, P., Barton, E., Dubert, J., Oliveira, P.B., Peliz, A., Silva, J. da e Santos, A.M.P. (2007). Physical oceanography of the western Iberia ecosystem: Latest views and challenges. *Progress in Oceanography*, 74, 149 - 173.
- Stewart, R., e Joy, J. (1974). HF radio measurements of surface currents. *Deep-Sea Research* on pp. 1039-1049 vol.21.

# OCEANOGRÁFIA GEOLÓGICA

---

3.<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica  
Lisboa, 24, 25 e 26 de junho de 2014

---





# Dinâmica de trocas entre a Ria Formosa e o oceano: modelação numérica do transporte de matéria em suspensão

J. Fabião<sup>(1)</sup>, M. Rodrigues<sup>(1)</sup>, A.B. Fortunato<sup>(1)</sup>, J. Jacob<sup>(2)</sup> e A. Cravo<sup>(2)</sup>

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente. mfrdrigues@lnec.pt

(2) Universidade do Algarve, Centro de Investigação Marinha e Ambiental.

**Resumo:** Pretende-se compreender a dinâmica de trocas de nutrientes, clorofila e material particulado entre a Ria Formosa e o oceano, e a influência dos principais forçamentos (e.g. maré) nesta dinâmica. A influência dos forçamentos ambientais na dinâmica de trocas Ria – oceano foi estudada com um modelo hidrodinâmico (SELFE) e um de transporte (VELApart). Foram simulados diversos cenários de vento, batimetria e descarga de efluentes de estações de tratamento de águas residuais. Os resultados sugerem uma influência significativa do vento e da batimetria na exportação de matéria em suspensão para o exterior da Ria a escalas temporais curtas. O local de descarga dos efluentes das estações de tratamento de águas residuais combinado com o efeito da maré influencia a distribuição espacial da massa no interior da Ria e os tempos de exportação para o exterior. Os padrões de transporte estimados podem contribuir para melhorar a gestão da Ria Formosa.

**Palavras-chave:** modelação hidrodinâmica, modelos lagrangeanos, vento, batimetria, ETAR.

## 1. INTRODUÇÃO

O projecto COALA visa caracterizar a distribuição espacial e a variabilidade temporal dos nutrientes, da clorofila *a* e da matéria particulada em suspensão na Ria Formosa, focando-se na importância das trocas de massa entre a Ria e o oceano e na influência da maré e de outros forçamentos ambientais nesta dinâmica.

A Ria Formosa (Fig. 1), localizada na costa Sul de Portugal, é um ecossistema de elevada produtividade biológica e diversidade ecológica, tendo-lhe sido atribuídos vários estatutos de protecção nacionais e internacionais. Para além do interesse ambiental, a Ria Formosa tem grande importância económica para a região, suportando actividades como o turismo, a mariscagem e a extracção de sal.

Este sistema lagunar, com cerca de 80 km<sup>2</sup> de área, 55 km de comprimento (Este-Oeste) e 6 km de largura máxima, é delimitado exteriormente por um cordão dunar de ilhas barreira com mais de 50 km de comprimento e possui seis ligações permanentes ao oceano (barras do Ancão, Faro-Olhão, Armona, Fuzeta, Tavira e Lacém). Cerca de 90% do volume de água é trocado no sector Oeste (Jacob *et al.*, 2013). A laguna é pouco profunda (Fig. 1), possuindo sapais, salgados, vasas, bancos de areia e canais. A dinâmica lagunar é dominada pela maré, com uma amplitude média de cerca de 2 m.

A influência da maré na hidrodinâmica da Ria Formosa, na dinâmica das suas barras e nos tempos de residência foi abordada em diversos estudos (e.g. Dias *et al.*, 2009, Jacob *et al.*, 2013, Lencart e Silva *et al.*, 2014). No entanto, estudos focados noutros forçamentos ambientais são ainda escassos.

O presente estudo visa contribuir nesta direcção, analisando a influência do vento, de diferentes

configurações batimétricas e das descargas das estações de tratamento de águas residuais (ETAR) na dinâmica de trocas entre barras do sector Oeste e a zona costeira adjacente. A abordagem utilizada combina um modelo hidrodinâmico, devidamente validado com base em dados de campo, e um modelo lagrangeano para a simulação de um conjunto de cenários. A estrutura do presente resumo reflecte esta abordagem. Na secção 2 descrevem-se os modelos numéricos e a sua implementação. Os resultados são apresentados na secção 3. Na secção 4 apresentam-se as conclusões.

## 2. MODELAÇÃO NUMÉRICA

### 2.1. Descrição dos Modelos

A hidrodinâmica foi simulada com o modelo SELFE (Zhang e Baptista, 2008). Este modelo resolve as equações tridimensionais de águas pouco profundas, que consideram as aproximações hidrostática e de Boussinesq, calculando a elevação da superfície livre e os campos tridimensionais de velocidade, de salinidade e de temperatura. Numericamente, o SELFE resolve o sistema de equações diferenciais através de esquemas de elementos finitos e volume finitos. A todas as equações são aplicados esquemas semi-implícitos. O domínio de cálculo é discretizado com malhas triangulares não-estruturadas na horizontal e coordenadas híbridas na vertical (S e Z).

Para simular a trajectória das partículas utilizou-se o modelo VELApart (Oliveira e Fortunato, 2002), o qual permite também estimar tempos de residência. Na versão bidimensional, utilizada neste estudo, o modelo VELApart resolve a forma não-conservativa da equação de transporte para partículas individuais, considerando o campo de velocidades médias na vertical.



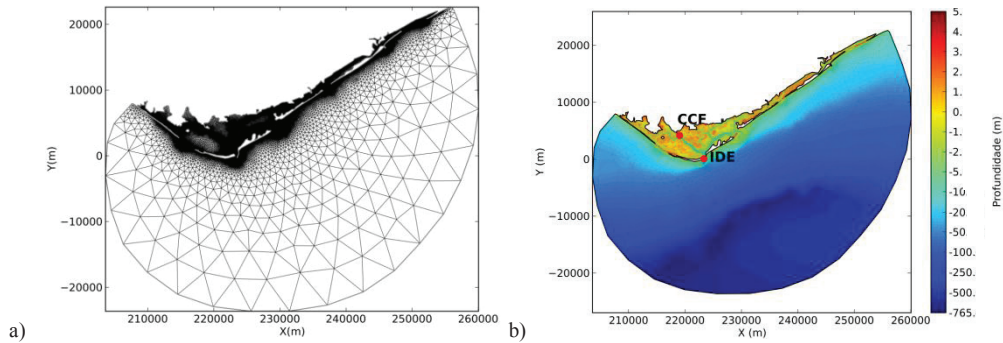


Fig. 1. Ria Formosa: malha de cálculo (a) e batimetria, referida ao nível médio do mar (b), com localização das estações de amostragem (CCF-Cais Comercial de Faro, IDE-Ilha Deserta).

## 2.2. Calibração e Validação do Modelo Hidrodinâmico

A aplicação do modelo SELFE baseou-se na aplicação do modelo ELCIRC de Bruneau *et al.* (2010). O modelo foi implementado em modo tridimensional barotrópico. Utilizou-se uma malha horizontal de 90056 nós (Fig. 1) e uma malha vertical com 11 níveis SZ. A rugosidade do fundo foi definida com base nos coeficientes de Manning (estimados a partir ocupação do solo), utilizando a fórmula de Zheng *et al.* (2013). O passo de cálculo foi de 15 s.

O modelo foi calibrado por comparação com dados de níveis de campanhas realizadas em 1979-80, tendo-se utilizado batimetria contemporânea. Os erros quadráticos médios (EQM) obtidos foram iguais ou inferiores aos de aplicações anteriores. Nas estações da barra de Faro-Olhão (IDE, Fig. 1) e do Cais Comercial de Faro (CCF, Fig. 1) os EQM são de cerca de 3 cm e 4 cm, respectivamente.

Para validar o modelo utilizaram-se dados das campanhas do COALA do Outono de 2011, tendo-se actualizado a batimetria com dados recentes (2001, 2003, 2004, 2008 e 2010; Bruneau *et al.*, 2010) – Fig. 1. Os EQM dos níveis para as séries sintetizadas são de cerca de 5 cm na IDE e no CCF. Os resultados das velocidades mostram também a boa capacidade do modelo para representar a hidrodinâmica da Ria Formosa (Fig. 2). Detalhes da calibração e validação do modelo hidrodinâmico encontram-se em Fabião *et al.* (2014).

## 2.3. Descrição dos Cenários

Os cenários simulados incluíram um cenário base com a simulação de referência (sem forçamento atmosférico, com a batimetria de referência – Fig. 1 – e sem caudais de água doce), e cenários variando o vento, a configuração batimétrica e o caudal descarregado por quatro ETAR localizadas na zona de estudo. A Tabela I resume os cenários simulados.

## 2.4. Setup das Simulações Lagrangeanas

As simulações hidrodinâmicas correspondentes aos diferentes cenários foram efectuadas com o modelo hidrodinâmico tridimensional. A parametrização foi

semelhante à utilizada na validação do modelo. No entanto, o forçamento de maré baseou-se apenas nas constituintes de maré M2 e S2, representando o ciclo marés vivas / marés mortas.

Nas simulações lagrangeanas, consideraram-se cinco conjuntos de partículas localizados junto das barras do sector oeste da Ria Formosa – Ancão, Faro-Olhão e Armona, e nos canais de Faro e de Olhão. Para o instante inicial da simulação das partículas, consideraram-se quatro fases distintas da maré: baixa-mar e meia-enchente, de marés vivas e de marés mortas. Nas simulações cuja origem das partículas são os canais, consideraram-se também os instantes de preia-mar e de meia-vazante. Observou-se, no entanto, uma rápida exportação para a zona costeira exterior. Nas simulações relativas aos caudais das ETAR, consideraram-se ainda quatro conjuntos de partículas localizados na proximidade da zona de descarga de cada ETAR, de forma a analisar a dispersão destes efluentes na Ria Formosa. Utilizou-se um passo de cálculo de 300 segundos e realizaram-se simulações de 30 dias.

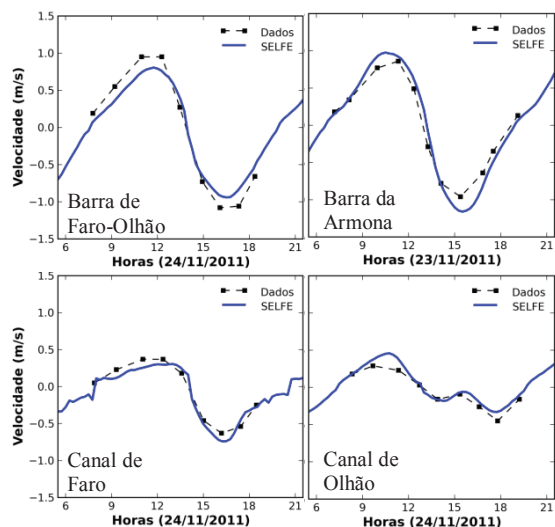


Fig. 2. Velocidades médias na secção. Os valores positivos correspondem à enchente e os negativos à vazante.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No cenário base e em situações de baixa-mar de marés vivas, o tempo necessário para 50% das partículas saírem para o exterior da Ria é inferior

Tabela I. Descrição dos cenários simulados.

Cenário	Variável	Descrição
0	Base	Base
1	Wind_W	Vento de Oeste, 16 km/h
2	Wind_NW	Vento de Noroeste, 13.5 km/h
3	Wind_SW	Vento de Sudoeste, 16.1 km/h
4	Wind_E	Vento de Este, 16.6 km/h
5	Wind_N	Vento de Norte, 11.6 km/h
6	Fecho BAN	Fecho da barra do Ancão
7	Anos 80	Batimetria dos anos 80
8	LiDAR	Batimetria LiDAR (2011)
9	ETAR 1	Caudal das quatro ETAR (ETAR Faro-Noroeste: 0.042 m <sup>3</sup> /s, ETAR Faro-Nascente: 0.093 m <sup>3</sup> /s, ETAR Olhão-Poente: 0.060 m <sup>3</sup> /s, ETAR Olhão-Nascente: 0.019 m <sup>3</sup> /s)
10	ETAR 2	Aumento de 50% do caudal das ETAR
11	ETAR 3	Aumento de 100% do caudal das ETAR

para partículas com origem na barra do Ancão (1 dia) e superior para partículas com origem na barra da Armona (cerca de 4 dias), Fig. 3. Devido às menores velocidades, os tempos de exportação da Ria tendem a ser superiores em baixa-mar de marés mortas, aumentando em cerca de 50%. As partículas são exportadas para o exterior predominantemente pela barra mais próxima da sua origem.

No que se refere à influência do vento, observam-se tendências distintas em função da direcção do vento. Para as partículas cuja origem é a barra da Armona, os resultados sugerem um efeito combinado do vento e maré, com uma maior influência do vento nos cenários de marés vivas. Nesta barra, os ventos de Este e Norte promovem um aumento significativo do tempo de exportação de 50% das partículas (Fig. 3), ao favorecerem a circulação pela barra de Faro-Olhão. Os ventos de Oeste e Sudoeste reduzem o tempo de exportação das partículas com origem na barra da Armona, promovendo o seu transporte pela barra da Fuzeta. Estes ventos aumentam o tempo de exportação das partículas com origem na barra de Faro-Olhão, ao conduzirem à sua circulação ao longo do canal de Olhão e favorecerem a sua exportação pela barra da Armona (Fig. 3).

Relativamente à influência da batimetria, os resultados sugerem uma diminuição da capacidade de escoamento das barras para as configurações batimétricas recentes, comparativamente com a batimetria dos anos 80 (Fig. 3). Este efeito é particularmente evidente na barra da Armona onde os tempos de exportação de 50% das partículas para a zona costeira exterior aumentam em cerca 50% da batimetria dos anos 80 para a batimetria de referência (Fig. 1). A perda de eficiência da barra da Armona foi já sugerida em estudos anteriores (e.g. Jacob *et al.*, 2013). Na barra do Ancão, caracterizada por uma elevada variabilidade e processos de migração nas últimas décadas, os resultados sugerem também uma tendência para a perda de eficiência.

Os resultados relativos às descargas das ETAR mostram uma baixa influência dos caudais de água doce na circulação e uma influência significativa da maré no transporte de massa na Ria (Fig. 4). Potenciais contaminantes/poluentes com origem na ETAR2 (Faro-Nascente) tendem a permanecer mais tempo na zona interior da Ria – 40-80% das partículas permanecem na Ria ao fim de 20 dias (Fig. 4), podendo diminuir a qualidade da água. Pelo contrário, potenciais descargas de contaminantes/poluentes da ETAR3 (Olhão-Poente) em baixa-mar

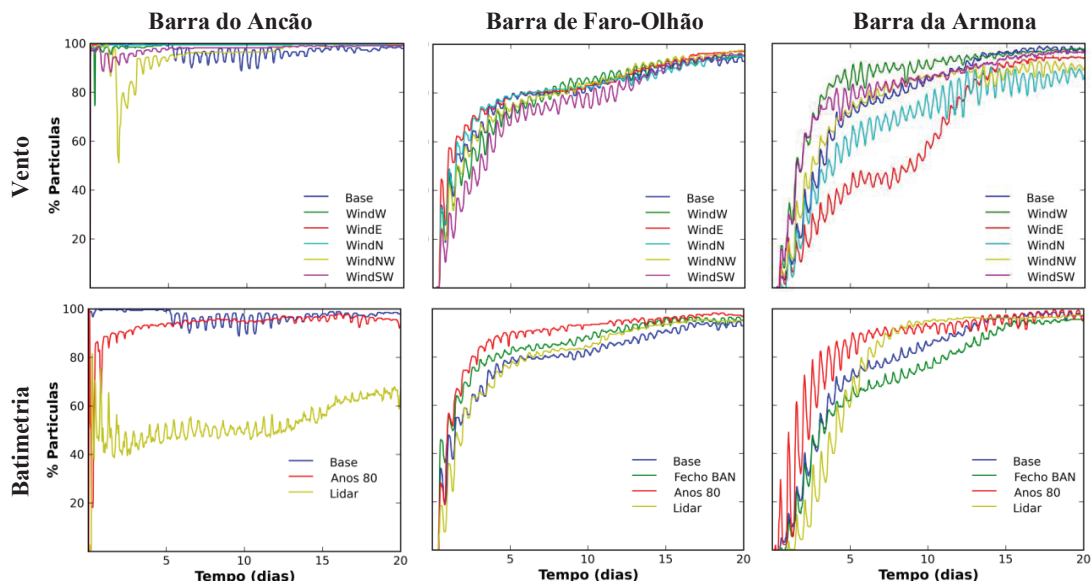


Fig. 3. Percentagem de partículas exportadas para o exterior da Ria Formosa: influência do vento e da batimetria, considerando o início da simulação em baixa-mar de marés vivas e a posição inicial das partículas em cada uma das barras do sector Oeste.

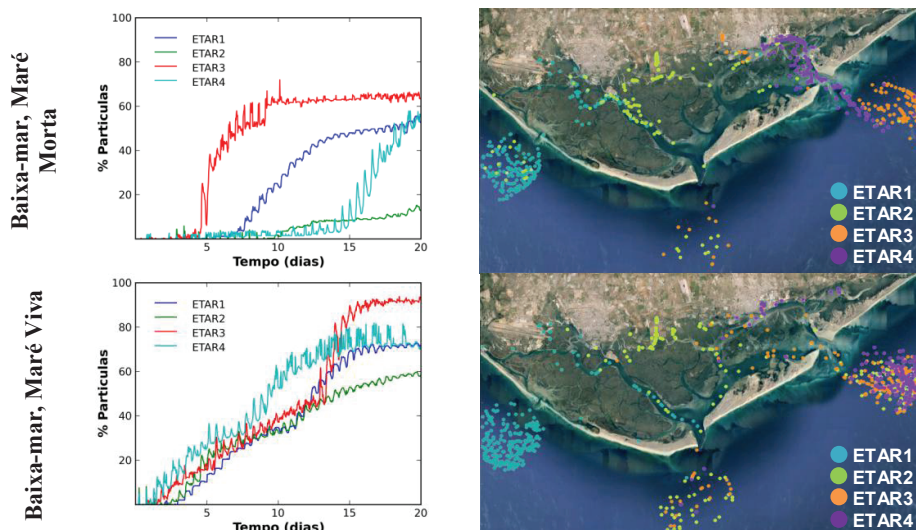


Fig. 4. Percentagem de partículas exportadas para o exterior da Ria Formosa e distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias, considerando o início da simulação em baixa-mar de marés vivas e em baixa-mar de marés mortas, e a posição inicial das partículas nas ETAR1 – ETAR Faro-Noroeste, ETAR2 – ETAR Faro-Nascente, ETAR3 – ETAR Olhão-Poente e ETAR4 – ETAR Olhão-Nascente.

de maré morta e da ETAR4 (Olhão-Nascente) em baixa-mar de maré viva são mais rapidamente exportadas para a zona costeira exterior (Fig. 4). Pode-se notar como a influência da maré é importante nesta dinâmica, observando-se um aumento significativo do tempo de exportação das partículas com origem na ETAR4 (Olhão-Nascente) em maré morta (Fig. 4).

#### 4. CONCLUSÕES

A dinâmica de trocas entre a Ria Formosa e o oceano foi estudada através de modelação numérica:

- a direcção do vento e a batimetria têm uma influência significativa na quantidade de partículas exportadas para o exterior a escalas temporais curtas, e nas barras por onde ocorre a exportação;
- a evolução batimétrica ocorrida nos últimos 30 anos reduz a capacidade de exportação de matéria particulada em suspensão para a zona exterior, aumentando os tempos de residência e podendo ser desfavorável em termos de qualidade da água;
- o efeito combinado do local de origem dos efluentes das ETAR e da maré (amplitude e fase) influencia significativamente a distribuição de potenciais poluentes no interior da Ria Formosa e os tempos de exportação para a zona exterior.

#### Agradecimentos

Este trabalho foi co-financiado pela FCT (COALA, PTDC/MAR/114217/2009 e bolsa SFRH/BPD/87512/2012 da segunda autora). Os autores agradecem ao Prof. António Melo Baptista (CMOP) e ao Prof. Joseph Zhang (VIMS) o modelo SELFE.

#### REFERÊNCIAS

Bruneau, A., Fortunato, A.B. e Portela L. (2010). *Valorização hidrodinâmica da Ria Formosa e*

*mitigação do risco nas ilhas barreira. Relatório 2. Rel. 395/2011-NEC/LNEC, Lisboa.*

- Dias, J.M., Sousa, M., Bertin X., Fortunato, A.B. e Oliveira, A. (2009). Numerical modeling of the impact of the Ancão Inlet relocation (Ria Formosa, Portugal). *Environmental Modelling & Software*, 24, 711-725.
- Fabião, J., Rodrigues, M., Jacob, J., Cravo, A., Cardeira, S., Fortunato, A.B, Azevedo, A. e Bruneau, N. (2014). A influência dos forçamentos na circulação e no transporte na Ria Formosa. *Actas do 12º Congresso da Água*, Lisboa, 16 pp.
- Jacob, J., Cardeira, S., Rodrigues, M., Bruneau, N., Azevedo, A., Fortunato, A.B., Rosa, M. e Cravo, A. (2013). Experimental and numerical study of the hydrodynamics of the western sector of Ria Formosa. *Journal of Coastal Research*, SI 65, 2011-2016.
- Lencart e Silva, J.D., Lopes, C.L., Picado, A., Sousa, M.C. e Dias, J.M. (2014). Tidal dispersion and flushing times in a multiple inlet lagoon. *Journal of Coastal Research*, SI 70, 598-603.
- Oliveira, A. e Fortunato, A.B. (2002). *VELApart User's Manual (Version 3.1)*. Rel. 82/02-NET/LNEC, Lisboa.
- Zhang, Y. e Baptista, A.M. (2008). SELFE: A semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation. *Ocean Modelling*, 21, 71-96.
- Zheng, L., Weisberg, R.H., Huang, Y., Luettich, R.A., Westerink, J.J., Kerr, P.C., Donahue, A.S., Crane, G., Akli, L. (2013). Implications from the comparisons between two-and three-dimensional model simulations of the Hurricane Ike storm surge. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118, 3350–3369.



## Canhão Submarino de Lisboa: um depocentro de sedimentos?

C. Jesus<sup>(1,2)</sup>, H. de Stigter<sup>(3)</sup> e A. Oliveira<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico - Divisão de Geologia Marinha. [ccesar.jesus@gmail.com](mailto:ccesar.jesus@gmail.com)

(2) GeoBioTec, Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, Aveiro

(3) Royal Netherlands Institute for Sea Research (NIOZ), Texel, The Netherlands

**Resumo:** O transporte e a deposição recente de sedimentos no Canhão Submarino de Lisboa, na margem continental Portuguesa, foram investigados recorrendo a análises dos sedimentos superficiais e a registos de correntes na camada junto ao fundo e a fluxos verticais de sedimentos. Os resultados alcançados mostram que o Canhão de Lisboa apresenta-se atualmente inativo no transporte sedimentar para zonas inferiores do sistema de canhões Lisboa-Setúbal. Portanto, o material que atinge o canhão acumula-se nos cursos superiores do mesmo sob a influência de correntes de maré. Esta dinâmica sedimentar proporciona a acumulação de sedimentos enriquecidos em contaminantes nestas mesmas zonas do canhão.

**Palavras-chave:** Canhão Submarino, Transporte Sedimentar, Taxas de Acumulação, Metais Traço.

### 1. INTRODUÇÃO

Os canhões submarinos são estruturas comuns em grande parte das margens continentais. Desde sistemas relativamente pouco profundos de sulcos interligados até vales incisados e sinuosos com centenas de quilómetros de comprimento, os canhões submarinos apresentam uma grande semelhança morfológica com formas de erosão encontradas no continente emerso. Verifica-se igualmente que apresentam (ou apresentaram no passado) uma função análoga de transporte de materiais de zonas menos profundas para as bacias oceânicas profundas.

Provavelmente, o número de canhões submarinos presentemente inativos em termos de transporte efetivo de sedimentos é muito superior relativamente àqueles que se encontram ativos (De Stigter *et al.*, 2011). Os exemplares que atualmente são conhecidos por apresentarem atividade substancial de transporte normalmente encontram-se próximos da zona costeira, capturando os sedimentos derivados de rios próximos (e.g. Canhão do Congo – Khripounoff *et al.*, 2003) ou aqueles que integram células de deriva litoral (e.g. Canhão da Nazaré – De Stigter *et al.*, 2007).

O sistema de canhões Lisboa-Setúbal é um exemplo curioso porque, apesar de ambos os cursos superiores dos canhões se encontrarem relativamente próximos da zona costeira, e da embocadura de rios importantes (Tejo e Sado), o sistema parece pouco ativo em termos de canalizar sedimentos para zonas mais profundas.

O objetivo do presente trabalho é sintetizar as evidências da limitada atividade do Canhão de Lisboa no transporte de sedimentos para zonas mais profundas.

### 2. ÁREA EM ESTUDO

O sistema de canhões Lisboa-Setúbal está localizado na margem continental portuguesa, intercetando esta

imediatamente a sul de Lisboa. Considera-se um sistema de canhões pois apresenta duas partes superiores: o Canhão de Lisboa e o Canhão de Setúbal (Fig. 1). A cabeceira do Canhão de Lisboa está localizada a ~120 m de profundidade e a ~13 km a sul-sudoeste da foz do Rio Tejo, o maior rio da Península Ibérica. A cabeceira do Canhão de Setúbal encontra-se a ~90 m de profundidade e a ~20 km a sul-sudoeste da foz do Rio Sado, um rio mais pequeno a sul do Tejo. Estes dois troços superiores do canhão encontram-se aos 2010 m de profundidade. A partir deste ponto, o canhão comumente designado por Canhão de Setúbal, de acordo com o nome do troço superior mais longo, continua em direção WSW por mais de 127 km até à base do talude continental a uma profundidade próxima dos 4500 m.

O eixo do Canhão de Lisboa corta a plataforma continental em 28 km e apresenta um comprimento total de 38 km devido ao seu traçado meandriforme (e encaixado entre paredes altas e com sulcos). A jusante do maior meandro, a parede oeste do canhão é composta por uma escarpa reta, antes da sua junção quase perpendicular ao troço superior do Canhão de Setúbal.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras e os dados oceanográficos analisados neste estudo foram colhidos durante seis cruzeiros realizados com o navio de investigação “Pelagia” do Royal NIOZ, entre novembro de 2002 e maio de 2007.

A estrutura bêntica BOBO (Bottom Boundary Lander) desenvolvida pelo NIOZ foi usada para medir as correntes na camada junto ao fundo, em associação com parâmetros físicos (temperatura, salinidade e turbidez) e fluxos verticais de sedimentos. Para isso a estrutura foi equipada com: i) um ADCP RDI 1200 kHz dirigido para o fundo a cerca de 2 m do mesmo; ii) sensores de condutividade e de temperatura a cerca de 3 m do



fundo e iii) uma armadilha de sedimentos Technicap PP4/3, colocada a 4 m do fundo. As localizações da implantação destas estruturas no fundo do mar estão representadas na Fig. 1.

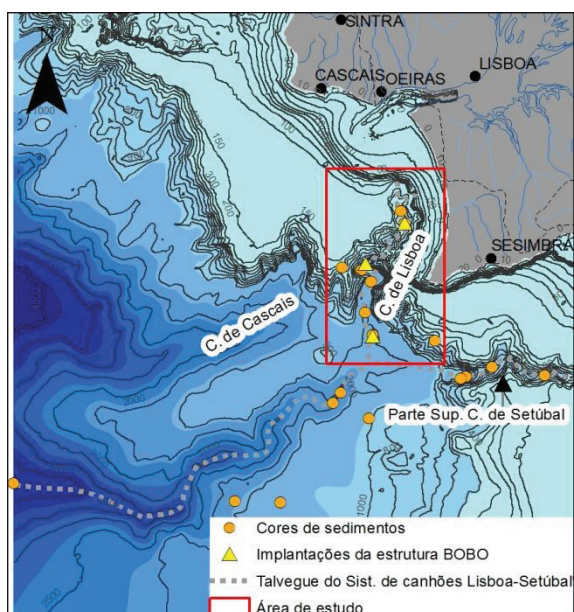


Fig. 1. Mapa esquemático da área de estudo com indicação da localização das estações de amostragem.

Os sedimentos superficiais foram colhidos com box-corer, multi- ou piston-corer (Fig. 1). As taxas de sedimentação, integradas ao longo dos últimos 100 anos, foram calculadas através dos perfis de  $^{210}\text{Pb}$  no sedimento. Mais detalhes sobre o tratamento dos sedimentos e as análises sedimentológicas podem ser consultados em Jesus *et al.* (2010) e em De Stigter *et al.* (2011).

Os primeiros 5 milímetros da camada sedimentar amostrada foram sujeitas a análises elementares recorrendo ao ICP-MS do Royal NIOZ. Mais informação sobre a precisão e a exatidão dos resultados e os procedimentos quer laboratoriais que posteriormente no tratamento dos dados para a construção dos fatores de enriquecimento, pode ser consultada em Jesus *et al.* (2010).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Hidrodinâmica junto ao fundo e fluxos verticais e horizontais de sedimentos

Ao longo de todo o sistema de canhões Setúbal-Lisboa, os registos da dinâmica das correntes junto ao fundo, observados 1 m acima do fundo, revelam velocidades moderadamente fortes com máximos sempre acima dos  $20 \text{ cm s}^{-1}$ , direcionadas ao longo do eixo do canhão, e com uma frequência e variação semidiurna, ou seja, de acordo com as marés. A velocidade média das correntes varia entre  $6,2$  e  $12,1 \text{ cm s}^{-1}$ , sendo mais elevada nos cursos superiores do sistema de canhões.

No Canhão de Lisboa, os dois registos menos profundos com a estrutura BOBO (497 e 1070 m)

foram curtos em termos temporais (7 e 12 dias, respetivamente) e feitos durante o verão (maio 2007 e setembro 2006, respetivamente). Nos dois registos ocorreram picos de turbidez quando a velocidade das correntes ultrapassou os  $20 \text{ cm s}^{-1}$ , indicando ressuspensão de sedimentos do fundo. Apesar do registo menos profundo apresentar velocidades de corrente e fluxos verticais de matéria particulada mais elevados, ambos revelam um transporte horizontal residual de sedimentos em direção a montante (Fig. 2) de cerca de  $4,0 \times 10^3 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ .

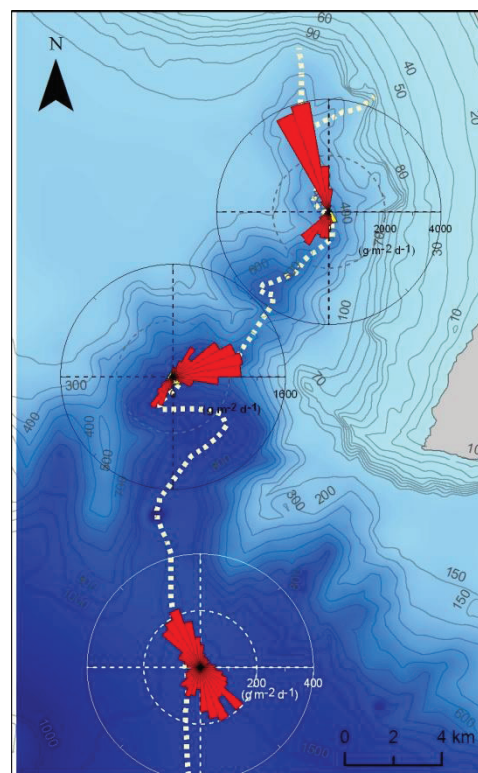


Fig. 2. Fluxos horizontais de sedimentos de acordo com o sentido da corrente determinadas nas três localizações da estrutura BOBO. Notar as diferentes escalas utilizadas nos gráficos.

No curso inferior do Canhão de Lisboa foram encontradas condições sedimentares diferentes daquelas descritas anteriormente. No registo feito durante 12 meses a 1858 m, picos de velocidade de corrente acima dos  $25 \text{ cm s}^{-1}$  foram comuns, e apenas nesses períodos foi observada uma clara relação entre a turbidez e a velocidade da corrente. Apesar das velocidades de corrente serem semelhantes àquelas encontradas a montante, os fluxos horizontais e verticais foram consideravelmente inferiores. Esta tendência é aliás coerente ao longo do Canhão de Lisboa, havendo um decréscimo dos fluxos horizontais e verticais em direção a jusante (Fig. 2 e Fig. 3, respetivamente).

### 4.2. Taxas de acumulação

No Canhão de Lisboa as taxas de sedimentação obtidas nos cores, calculadas através do decaimento do  $^{210}\text{Pb}$  em excesso, variou entre  $1,0$  e  $19,3 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Fig. 3). Os valores mais elevados ( $> 5,0 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) ocorrem nas porções superiores do canhão a

montante do meandro mais apertado que, no talvegue, cobre profundidades entre 700 e 1100 m. A jusante do mesmo as taxas são consistentemente abaixo dos  $5,8 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Fig. 3).

Em áreas próximas do talude continental e para profundidades semelhantes, os valores encontrados são inferiores a  $2,5 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , frequentemente inferiores a  $1,5 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (De Stigter *et al.*, 2011).

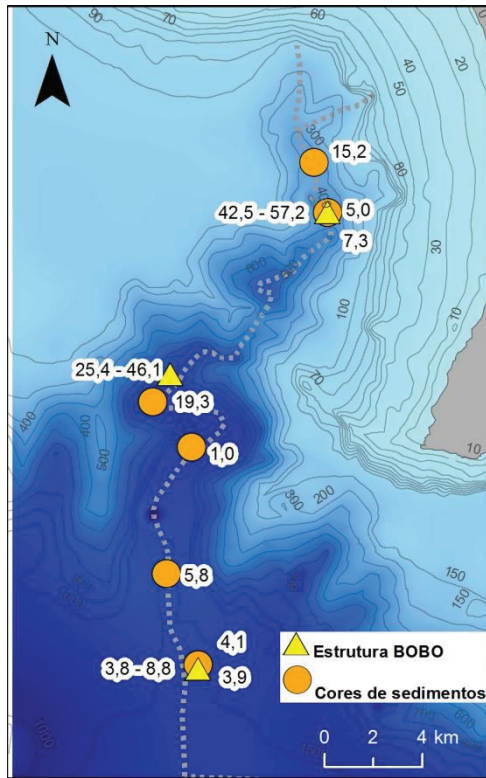


Fig. 3. Taxas de acumulação de sedimento ( $\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) determinado nos cores de sedimentos (números à direita dos círculos) e fluxos verticais de sedimentos ( $\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) determinados através de uma armadilha de sedimentos montada na estrutura BOBO (intervalo de valores à esquerda dos triângulos).

#### 4.3. Sedimentos superficiais

Os cores colhidos no Canhão de Lisboa são compostos por sedimentos lodosos com pouco material grosseiro. Estes apresentam cor cinzenta escura e negra por baixo de uma fina camada oxidada, indicando elevado teor em matéria orgânica. No nível superficial (0-0,5 cm) dos sedimentos superficiais as modas granulométricas variam entre os 7 e os 15  $\mu\text{m}$ . Nestes mesmos sedimentos as concentrações de matéria orgânica variaram entre 2,5 e 5,0% e as concentrações de material litogénico são frequentemente acima dos 80%. Sedimentos colhidos na restante área do sistema de canhões apresentam consistentemente concentrações de material litogénico abaixo dos 80%, mesmo no curso superior do Canhão de Setúbal (cf. De Stigter *et al.*, 2011).

Enquanto a granulometria e a composição dos sedimentos ao longo dos cores é relativamente homogenia, encontraram-se algumas exceções,

nomeadamente no Canhão de Lisboa, onde se observam intercalações de níveis sedimentares com litologias diferentes (turbiditos e hiatos). Ocorrem também zonas onde há interrupção do perfil do  $^{210}\text{Pb}$ , apesar da aparente homogeneidade do sedimento. Estes possivelmente correspondem a deposições rápidas de turbiditos lodosos ou escorregamentos de sedimentos superficiais das paredes próximas do canhão.

#### 4.4. Enriquecimento em Pb e Zn

No sistema de canhões Lisboa-Setúbal todos os sedimentos superficiais analisados apresentam fator de enriquecimento (EF) de Pb acima ou igual a 1,5. Os valores mais baixos correspondem a sedimentos colhidos no talude continental próximo ao canhão. Dentro do sistema de canhões há um decréscimo exponencial do enriquecimento com o aumento da profundidade, sendo que os valores são claramente mais elevados no Canhão de Lisboa (Fig.4a).

O EF (Zn) apresenta uma distribuição semelhante àquela observada para o Pb, no entanto, o enriquecimento é genericamente inferior. Também para este metal traço, o Canhão de Lisboa volta a destacar-se com os valores mais elevados (Fig.4b).

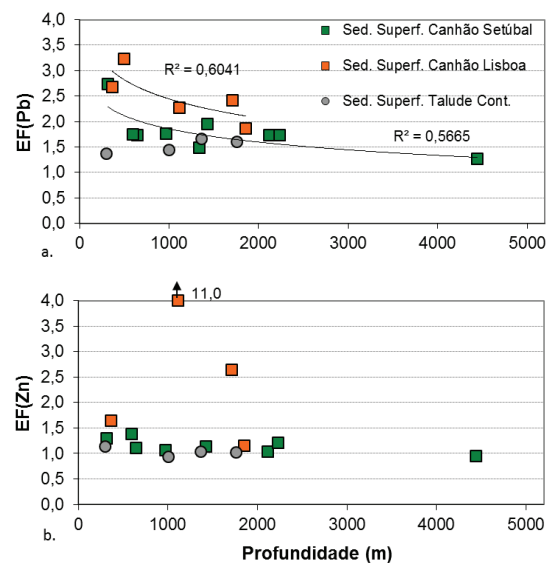


Fig. 4. Fatores de enriquecimento de Pb (a.) e de Zn (b.) em sedimentos superficiais (0-0,5 cm) colhidos no sistema de canhões Lisboa-Setúbal e no talude continental adjacente.

## 5. DISCUSSÃO

As características dos sedimentos superficiais do Canhão de Lisboa revelam fortes origens terrígenas com elevadas concentrações de matéria orgânica. No entanto, de acordo com observações de Jouanneau *et al.* (1998) a camada nefelóide de fundo, só em condições muito restritas (ondulação de SW) atinge a cabeceira do Canhão de Lisboa. Torna-se assim claro que deverá existir outro(s) mecanismo(s) que permita(m) o transporte de sedimentos com as referidas características até ao canhão.

As taxas de sedimentação encontradas no Canhão de Lisboa, especialmente no seu curso superior, apesar de serem elevadas tendo em conta o contexto de todo o sistema de canhões Lisboa-Setúbal e do talude continental adjacente, são taxas baixas quando comparadas com aquelas que se encontram para as mesmas profundidades no Canhão da Nazaré (cf. De Stigter *et al.*, 2007).

Por outro lado, o enriquecimento em Pb e em Zn encontrado no Canhão de Lisboa, especialmente nas suas porções superiores, parece indicar que o transporte de sedimentos ao longo do canhão não se faz de forma eficiente como acontece no Canhão da Nazaré, onde os fatores de enriquecimento destes mesmos metais traço decrescem para *offshore*, ao longo do canhão, de forma gradual (cf. Jesus *et al.*, 2010).

O sedimento que é capturado no Canhão de Lisboa parece sofrer ciclos consecutivos de ressuspensão e sedimentação, havendo transporte efetivo através das marés internas. Estes processos serão mais dinâmicos nas seções estreitas do curso superior do canhão onde há concentração da energia das marés. No entanto, nos dois registos de fluxos horizontais feitos nestas zonas superiores do canhão, verifica-se que o transporte residual ocorreu em direção a montante, contrariamente àquilo que acontece, por exemplo, no Canhão da Nazaré (cf. De Stigter *et al.*, 2007).

Estas observações levam a concluir que o Canhão de Lisboa atualmente atua como um depocentro de sedimentos. O canhão não proporciona um transporte efetivo dos sedimentos capturados para zonas mais profundas. Considerando a proximidade da cabeceira ao estuário do Tejo e a zonas urbanas e fortemente industrializadas, uma consequência deste tipo de dinâmica sedimentar será a acumulação de sedimentos enriquecidos em contaminantes no canhão, uma vez que não se promovem fenómenos de diluição, através da incorporação destes sedimentos com outros não enriquecidos, à medida que é feito o transporte para *offshore*.

## 6. CONCLUSÕES

O Canhão de Lisboa, que provavelmente constituiu uma importante conduta de sedimentos para zonas profundas do mar durante períodos glaciares, apresenta-se atualmente inativo no transporte sedimentar para zonas inferiores do sistema de canhões Lisboa-Setúbal. O material particulado que atinge o canhão acumula-se nas porções superiores do mesmo sob a influência de correntes de maré. A maré interna apresenta-se relativamente forte, resultando na alternância de ciclos de ressuspensão e sedimentação. O fluxo de água residual para montante parece impedir a dispersão de sedimentos

para zonas mais profundas. Esta dinâmica sedimentar proporciona a acumulação de sedimentos enriquecidos em metais traço no canhão, especialmente no curso superior.

A gestão sustentável de zonas marinhas, nomeadamente de um canhão submarino, deve ter em conta, para além de aspetos genéricos da sua geomorfologia e das características climatológicas e oceanográficas, a sua especificidade em termos de dinâmica sedimentar. A qual deve ser estabelecida com estudos específicos e a longo prazo.

## Agradecimentos

Este estudo resulta de dados adquiridos no âmbito dos projetos europeus EUROSTRATAFORM e HERMES. Encontra-se ainda ao abrigo do projeto “Lead in Canyons” (Dutch Science Foundation). Reconhece-se ainda a Fundação para a Ciência e a Tecnologia pela atribuição de uma bolsa de doutoramento e outra de pós-doutoramento ao primeiro autor. Agradecem-se também os comentários de Aurora Rodrigues e um outro revisor anónimo que permitiram tornar esta comunicação mais clara.

## REFERÊNCIAS

- De Stigter, H.C., Boer, W., Mendes, P.A.J., Jesus, C.C., Thomsen, L., van den Berg, G. e van Weering, T.C.E. (2007). Recent sediment transport and deposition in the Nazaré Canyon, Portuguese continental margin. *Marine Geology*, 247, 144-164.
- De Stigter, H.C., Jesus, C.C., Boer, W., Richter, T.O., Costa, A. e van Weering, T.C.E. (2011). Recent sediment and deposition in the Lisbon-Setúbal and Cascais Canyon, Portuguese continental margin. *Deep-Sea Research*, 58, 2321-2344.
- Jesus, C.C., de Stigter, H.C., Richter, T.O., Boer, W., Mil-Homens, M., Oliveira, A. e Rocha F. (2010). Trace metal enrichments in Portuguese submarine canyons and open slope: anthropogenic impact and links to sedimentary dynamics. *Marine Geology*, 271, 72-83.
- Jouanneau, J.M., Garcia, C., Oliveira, A., Rodrigues, A., Dias, J., Weber, O. (1998). Dispersal and deposition of suspended sediment on the shelf off Tagus and Sado estuaries, SW Portugal. *Progress in Oceanography*, 42, 233-257.
- Khrpounoff, A., Vangriesheim, A., Babonneau, N., Crassous, P., Dennielou, B. e Savoye, B. (2003). Direct observation of intense turbidity current activity in the Zaire submarine valley at 4000 m water depth. *Marine Geology*, 194, 151-158.



## Modelling nearshore dynamics at Norte beach (Nazaré)

I. Bosnic<sup>(1,2)</sup>, J. Duarte<sup>(2)</sup>, R. Taborda<sup>(1)</sup>, J. Cascalho<sup>(3,4)</sup>, A. Silva<sup>(1)</sup>, and A. Oliveira<sup>(2)</sup>.

- (1) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa. ibosnic@fc.ul.pt  
 (2) Instituto Hidrográfico  
 (3) Museu Nacional de História Natural e da Ciência, Universidade de Lisboa  
 (4) Centro de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

**Abstract:** Understanding hydrodynamic forcing and sediment transport processes is of main importance in the nearshore morphodynamic studies. This work aims to evaluate sediment transport conditions at Norte beach nearshore zone under low energetic wave conditions ( $H_s < 1.5$  m). Hydrodynamic and morphological modelling using the Delft3D software was applied at a 10 by 4 km area comprising the Norte beach and Nazaré bay, which was discretized by a curvilinear grid with 10 homogeneous sigma layers. Model results were validated with field data, including ADCP data acquired at the inner shelf and drogues released at the breaker zone. Results show a well-developed longshore current with magnitude and direction in good agreement with field observations. Estimated maximum bed shear stress provided insights on the sediment threshold potential across the study area. Sediment transport, both suspended and bed load, was found to be relevant only at the breaker zone and its vicinity.

**Key words:** sediment transport, nearshore dynamics, Norte beach, numerical modelling

### 1. INTRODUCTION

Studying nearshore wave and current dynamics together with the sediment transport processes is vital to understand shoreline evolution, the impact of nearshore structures (such as coastal protection structures, submarine outfalls and wave energy acquisition systems), the effect of offshore sand extraction and also on the impact on submarine cables (Kleinhans, 2002).

Appropriate modeling tools are therefore crucial to the management of nearshore and estuarine areas. The importance of sediment dynamics in coastal interactions further emphasizes the need for hydrodynamic and sediment transport modeling (Amoudry and Souza, 2011).

This work aims to evaluate oceanographic and sediment transport conditions at Norte beach under low energetic wave conditions ( $H_s < 1.5$  m). To meet this objective the present study is supported by the numerical modeling of the hydrodynamic and morphodynamic conditions over the Nazaré inner shelf area (Fig. 1).

#### 1.1. Study area

The study site is located at the Portuguese west coast and it is fully exposed to the high energetic NW North Atlantic swell and the locally generated sea that is characterized by a wide directional spreading (from N to SW octants). Offshore incident wave regime is characterized by significant wave height of about 2 m and average peak period of 11 s (Dodet et al. 2010).

The target area is located at the vicinity of the Nazaré submarine Canyon and is presently being

studied in the scope of several research projects (Duarte *et al.*, 2014, Silva *et al.*, 2012). This coastal stretch exhibits a particular behavior with the interaction of wave and currents with the complex morphology of the Nazaré canyon head.

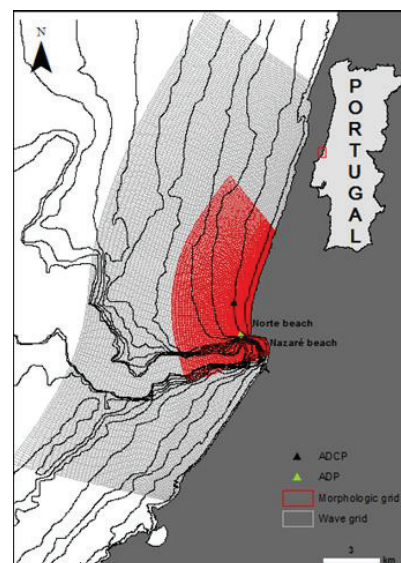


Fig. 1. Morphologic and wave grid for Delft3D simulation and the position of ADCP and mini-ADP.

### 2. METHODS

#### 2.1. Fieldwork

The field data was acquired under the scope of the Beach to Canyon project (PTDC/MAR/114674/2009) during the main field campaign that took place at Norte Beach between 9<sup>th</sup> and 15<sup>th</sup> September 2013. The experiment consisted on the estimation of the longshore drift through the continuous injection of 10 tons of native coated sand. During the tracer



injection procedure (approx. 5 hours), drogue release was performed at several sites along a rectilinear coastal stretch extended through 600 m downdrift of the injection point (Duarte *et al.*, 2014) and inside the Nazaré Bay.

The oceanographic conditions at the inner shelf were measured throughout an ADCP deployed at 16 m depth in front of the Norte beach and a mini-ADP deployed off Nazaré headland at 18 m depth (Fig. 1). Longshore current was estimated by a series of drogues (oranges) that were released approximately at the breaker point along the Norte beach. Sedimentary and topographic data were also collected along the study area.

## 2.2. Numerical modelling

The 3D hydrodynamic model was first configured through the use of Delft Dashboard software - a standalone Matlab based graphical user interface to the Delft3D modelling suite (Lesser *et al.*, 2004). This interface eases model setup in what concerns hydrodynamics, waves, sediment transport and morphodynamic conditions.

Model domain consists of two computational grids (Fig. 1). The wave grid covers an area of 24600 x 9200 m discretized in a curvilinear grid with a resolution that increases from 200 m offshore up to 60 m towards the coast. The flow grid has 9000 x 4300 m and it is also represented by a curvilinear grid with a cell size from 170 m up to 14 m. Both grids contains 10 homogeneous sigma layers (10% of the local depth for each layer). The bathymetry and topographic data represent the morphological configuration during summer.

The boundary conditions were imposed using the Topex 7.2 tidal model and by a parametric wave spectra ( $H=1.2$  m;  $T=8$  s;  $Dir=330^\circ$ ) which was considered the average wave regime in this area during the field campaign (as measured by ADCP).

The effect of the enhanced bed shear stress due to the wave-current interaction was computed using the Fredsøe (1984) model, parameterized by Soulsby (1997). Both suspended and bedload transport were computed using the Soulsby/Van Rijn method (Deltares, 2011).

## 3. RESULTS

### 3.1. Validation

#### Longshore drift

The longshore current measured by drogues along the surf zone was southward directed with velocities ranging between 0.16 and 0.55 m/s.

The model results at the observed points located at 2 m depth are in agreement with field data regarding both direction and magnitude of the longshore drift (Fig. 2). The model results were also able to

represent the slight decrease of the longshore current intensity approximately at a 400 m downdrift distance from the sand injection point.

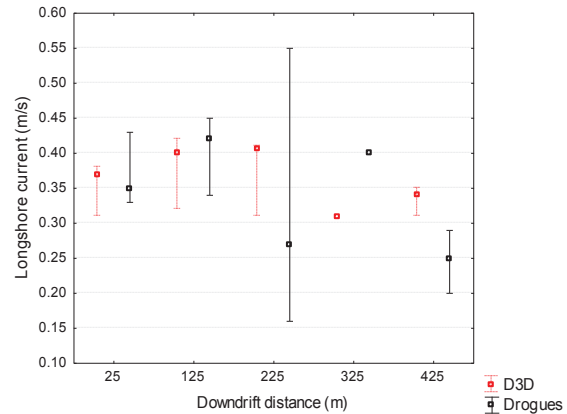


Fig. 2. Boxplot graph comparing the field measurements (drogues) and numerical modelling results (D3D) of the longshore current magnitude represented by maximum, minimum and medium values. Single points indicate a single measurement.

#### Inner shelf current

Both ADCP and mini-ADP current data show a moderate uniformity along the water column and a tide correlated flow pattern. The along-shelf current is dominated by the north-south current (v component) and it is clearly the strongest current component acting at both measurement sites with a prevailing northward directed flow reaching up to 0.16 m/s (Fig. 3 and Fig. 4).

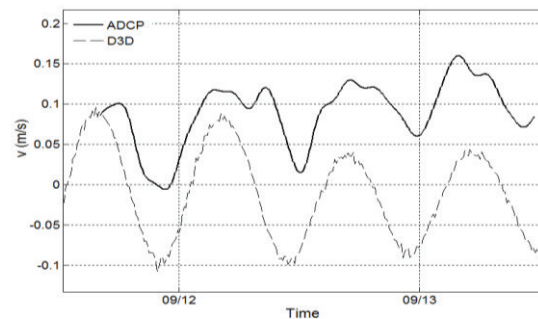


Fig. 3. Comparison between the north-south current measured by the ADCP and simulated by the Delft3D model (D3D).

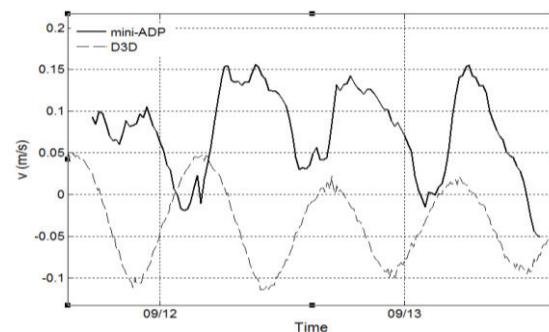


Fig. 4. Comparison between the north-south current measured by the mini-ADP and simulated by the Delft3D model (D3D).

The model results also show a tide related along-shelf current, however with a prevailing southward direction and magnitudes up to 0.1 m/s.

The differences between observed and simulated current data are probably due to the presence of a northward residual flow described as a poleward coastal flow compatible with the presence of an inshore countercurrent that is associated with periods of weakening/relaxation of upwelling favourable winds (Relvas and Barton, 2002). This phenomena cannot be simulated by the model as only tidal and wave forcing are being considered.

The smooth bathymetry in the vicinity of the ADCP measure site supported a good behavior of the hydrodynamic model over this area. Fig. 3 shows a good agreement in phase and magnitude between simulated and observed current data. On the other hand, the complex bottom configuration of the canyon head at the proximity of the mini-ADP observation site clearly affects the numerical model simulation at this area. The tidal signal could not be correctly simulated over the canyon head as the hydrodynamic grid contains only part of this morphological feature. This aspect has probably influenced the phase lag between simulated and observed along-shelf current data.

### 3.2. Model results

The model output clearly shows the wave deformation across the propagation area (Fig. 5).

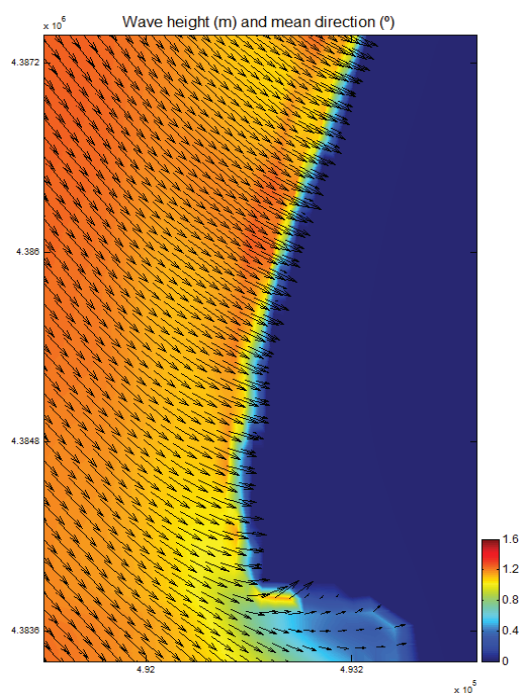


Fig. 5. Wave propagation across the study area (2013-09-12 15:00).

The coastline configuration and Nazaré headland shelters the Nazaré embayment inducing a milder wave regime at the Nazaré beach. Through the coastal stretch north of Nazaré headland, the changes in wave refraction pattern are related to the progressively smaller wave breaking angles northward from the headland.

According to Delft3D computation, the spatial distribution of the horizontal velocity of the upper layer indicates a well-defined southward longshore current. Across the coastal stretch north of Nazaré headland the current velocity varies mostly from 0.3 up to 0.7 m/s. The nearshore current transposes the headland and follows the coast eastward with velocities between 0.2 and 0.4 m/s. At Nazaré beach currents are weaker and do not exceed 0.2 m/s (Fig. 6).

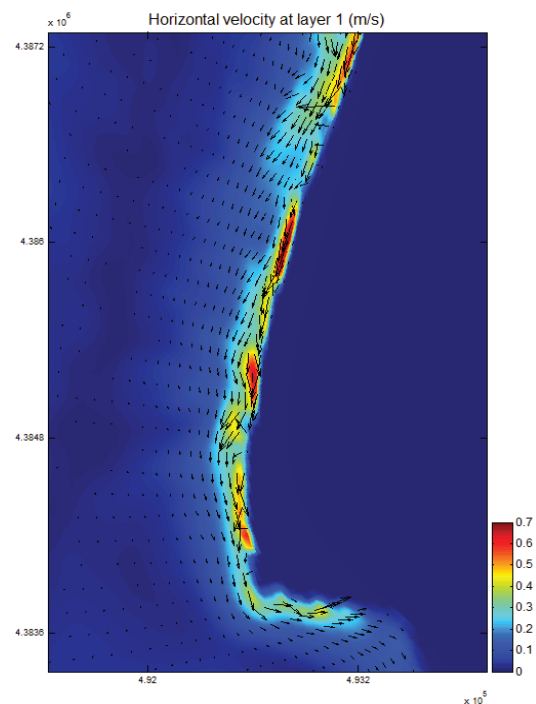


Fig. 6. Horizontal velocity at the upper layer (2013-09-12 15:00).

The spatial distribution of the maximum bed shear stress gives a good insight on the determination of the potential area for sediment remobilization. Based on the numerical modelling results of the wave-current interaction, thresholds for two particle sizes were determined in order to estimate the areas. According to the numerical simulation, in low energy conditions, coarse sand can be mobilized up to 16 m depth while fine sand threshold is around 35 m depth (Fig.7).

The suspended and bed load transport rates computed for medium sand ( $D_{50} = 0.4$  mm) indicates that during low energetic conditions the sediment transport is restricted to the breaker zone and its vicinity. Both transport rates are of the same magnitude and have a very similar spatial distribution pattern (Fig. 8).

## 4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

This work was able to evaluate the sediment transport conditions at Nazaré beach nearshore zone under low energetic conditions through a 3D numerical simulation performed by Delft3D.

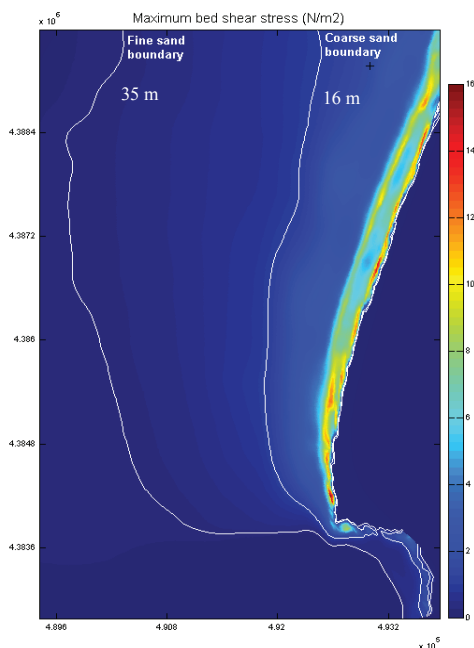


Fig. 7. The spatial distribution of the maximum bed shear stress with maximum threshold depth for fine and coarse sand (2013-09-12 15:00).

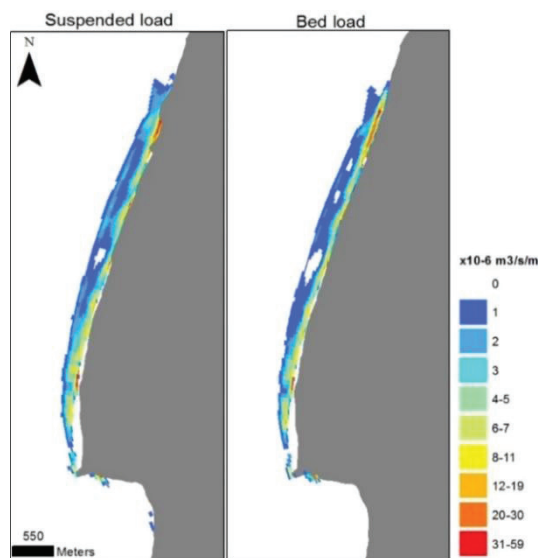


Fig. 8. The instantaneous transport rate represented by the suspended and bed load (2013-09-12 15:00).

Longshore drift estimates shows a wave-induced southward directed flow, with a magnitude similar to the ones measured in the field. This result is in agreement with Larangeiro (2012) work where a southward longshore current was computed under similar wave forcing type. Flow simulation also indicates the headland eastward shifting of the longshore southward current that persists near the coast, identifying a condition of sediment headland bypassing.

Model results also gave valuable insights on the understanding of the sediment dynamics at the inner shelf by the computation of maximum threshold depths for fine and coarse sand in relation to wave-current forcing.

The transport rates for the suspended and bed load simulated over a medium sand sedimentary bed allowed the evaluation of longshore drift behavior during low energetic condition.

Future work will focus on the validation of the transport rates with the sand tracers results. Further efforts should also be done in order to expand the numerical modelling of the nearshore dynamics to other energy conditions acting over the study area.

### Acknowledgements

The first author is supported by a PhD grant (FCT/SFRH/BD/77224/2011). This work was supported by the project Beach to Canyon Head Sedimentary Processes (FCT/PTDC/MAR/114674/2009) funded by FCT.

### REFERENCES

- Deltares, (2011). Delft3D-FLOW. *Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments*, v3.15. User Manual. Delft Hydraulics.
- Duarte, J., Taborda, R., Ribeiro, M., Cascalho, J., Silva, A., Bosnic, I. (2014). North beach (Nazaré) sand tracer experiment. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 16, EGU2014-14268-1.
- Fredsøe, J., (1982). Shape and dimensions of stationary dunes in rivers. *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE 108: 932947.
- Kleinmans, M. (2002). Sediment dynamics on the shoreface and upper continental shelf, a review. *Universiteit Utrecht, Physical Geography*. EC MAST Project No. MAS3-CT97-0086.
- Larangeiro, S. (2012). *Processos costeiros no sistema da cabeceira do canhão submarino da Nazaré*. Avail. on <http://dspace.hidrografico.pt/>.
- Lesser, G.R., Roelvink, J.A., van Kester, J.A.T.M. and Stelling, G.S., (2004). Development and validation of a three dimensional morphological model. *Journal of Coastal Engineering*, 51, 883-915.
- Relvas, P., Barton, E.D., (2002). Mesoscale patterns in the Cape São Vicente (Iberian Peninsula) upwelling region. *Journal of Geophysical Research* 107, 3164.
- Silva, A., Taborda, R., Antunes, C., Catalão, C. and Duarte, J. (2013). Understanding the coastal variability at Norte beach, Portugal. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 65, pp 2173-21-78, ISSN 0749-0208.
- Soulsby, R. (1997). *Dynamics of marine sands, a manual for practical applications*. Thomas Telford, London.

# Modelling beach morphological changes during episodic erosion-recovery events: preliminary results

F. Oliveira

Laboratório Nacional de Engenharia Civil. foliveira@lnec.pt

**Abstract:** Episodic and seasonal beach-dune system erosion, unlike long-term erosion, are, in general, followed by natural beach-dune recovery. This study, developed based on numerical modelling, is focused on the wind driven waves onshore and offshore induced sediment fluxes and resulting beach-dune morphological evolution, particularly on the underlying physics not yet fully understood, during episodic events of erosion-recovery. The objective is to improve the prediction capacity of the short to medium-term morphodynamic numerical model XBeach, particularly in what concerns the beach recovery phenomenon, and thus contribute to its credible application.

**Key words:** beach erosion, beach recovery, episodic event, physical processes, morphodynamics.

## 1. INTRODUCTION

Episodic and seasonal beach-dune system erosion are cyclic phenomena characterized by a decrease of sediment volume in the beach and dune zones, which result in the retreat of topographic lines like the dune vegetation line and the mean sea level line. Unlike long-term erosion (which corresponds to the exact definition of erosion, despite the accepted broader use of the term), they are, in general, followed by natural beach-dune recovery. These phenomena, usually associated to sea storm events that occur during the maritime season (between October-March for the Portuguese coast), can have a devastating effect in beach-dune systems, placing people, infrastructures and natural environments in danger.

The literature reveals that the phenomenon of dune erosion under sea storm conditions started to be studied in the late 1960s, based on theoretical or experimental approaches (Edelman, 1968; van der Meulen and Gourlay, 1968). Since then, many studies have been undertaken and the approaches have been improved, not only due to the accumulation and deepening of the knowledge but also due the advances of the computing science, which allowed developing numerical models as an analytical tool to investigate the phenomenon (van de Graaff, 1977; Vellinga, 1982; Fisher and Overton, 1984; Kriebel and Dean, 1985; Overton and Fisher, 1988; van de Graaff, 1986; Larson and Kraus, 1989; Sallanger, 2000; Larson *et al.*, 2004; Roelvink *et al.*, 2009; Oliveira, 2012a, 2012b, 2013).

In opposition, despite the existence of empirical knowledge on the post-storm beach-dune system recovery phenomenon, few analytical studies which analyze the interaction between the hydrodynamic and the geomorphologic processes have been conducted so far. The first study on dune recovery based on field observations was developed by Carter *et al.* (1990).

In brief, the phenomenon of post-storm beach-dune system recovery starts with the onshore transport of the sediment that was accumulated in the form a submerged bar during the beach-dune erosion process. The sediment is transferred from the bar towards the beach foreshore (beach face) by the low energy hydrodynamic forcing conditions (wind driven waves under calm conditions). Then, due to the tide induced sea level variation and the wind action (aeolian transport) the sediment is accumulated between the mean high water springs and the beach scarp leading to the formation of an echo dune. Once the scarp slope is filled and lying below the angle of repose, vegetation growth accelerates the dune recovery process. The rebuilding of the seaward dune face depends largely on the beach foreshore-berm-dune sediment exchanges, which are determined by a wide range of environmental parameters, such as sediment availability, moisture content and wind conditions.

This study, based on a numerical approach, is focused on the physics, not yet fully understood, involved in the offshore and onshore sediment fluxes and resulting beach-dune system morphological evolution, induced by wind driven waves, during short to medium-term episodic events of erosion-recovery. The objective of the study is to test and improve the capacity of a numerical model, the XBeach, to simulate the physical processes which cause the first phase, described above, of the post-storm beach recovery phenomenon.

## 2. DATA AND METHOD

### 2.1. Storm conditions

The morphologic initial conditions were based on a representative cross-shore profile located in the Ancão spit, near Faro, Algarve. The profile elevation, relative to the nautical Chart Datum (CD), presently 2.15 m below the mean sea level (MSL) for this location, resulted from joining the depth obtained from a hydrographic survey to the dune elevation obtained, in a close date, from a LIDAR



topographic survey. For the spatial resolution of the model it was considered a uniform cross-shore grid spacing with  $dx=1.00$  m.

The sediment grain size was characterised by the statistic parameters median grain diameter,  $D_{50} = 0.5$  mm, and 90th percentile,  $D_{90} = 0.8$  mm, based on the results of the grain size analysis of sediment samples near the location of the representative cross-shore profile. The sediment density was 2.65.

The wave and sea level series considered in the simulation correspond to the 50-year return period maritime storm parameters in front of Ancão spit (Table I). It was applied the 50-year return period surge, 0.9 m, calculated as described by Sancho *et al.* (2012) and considered constant during the storm. The maximum sea level applied at the offshore boundary, 4.42 m CD, resulted from of the sum of the mean high water spring (MHWS) tidal level determined at Faro, 3.52 m CD, with the surge. The duration of the storm was 24 hours. The maximum significant wave height and wave peak period associated to a 50-year return period at the offshore of the Ancão spit are  $H_{smax} = 7.00$  m and  $T_p = 12.5$  s, respectively, according to the same authors (Sancho *et al.*, 2012). These wave parameters together with normal wave incidence (same alignment as the cross-shore profile) were considered constant along the storm.

### 2.2. Post-storm conditions

The geomorphologic initial conditions were the post-storm conditions, that is, the initial profile of the recovery simulation was the final profile of the storm simulation.

The wave and sea level series considered are representative of the local calm sea state conditions (Table I). The surge was considered null and the maximum sea level applied at the offshore boundary, 2.76 m CD, resulted from considering the mean high water (MHW) tidal level determined at Faro. The wave conditions were determined based on the wave data of the WAVEC buoy, deployed at 93 m depth in a location with geographic coordinates  $36^{\circ} 54' 17''$  Latitude (N) and  $7^{\circ} 53' 54''$  Longitude (W), in front of Faro. Based on the analysis of the data for the period Sep/1986-Dec/2000, from Costa *et al.* (2001), and for the period Jan/1998-Dec/2007, from Capitão *et al.* (2009), the significant wave height and wave peak period selected to represent calm conditions were  $H_s = 1$  m and  $T_p = 7$  s, each value correspondent to the upper limit of the most frequent class of occurrence. The waves were considered with normal incidence in the simulation.

### 2.3. Morphodynamic numerical model

The XBeach (eXtreme Beach behaviour) model (Roelvink *et al.*, 2009) is a 2DH (two dimensional,

horizontal) process-based morphodynamic numerical model that can simulate the main processes which occur in the four regimes of maritime storm impact described by Sallenger (2000): swash, collision, overwash and inundation. However, only the first two were considered in the present case study.

It solves coupled 2DH equations for wave propagation, flow, sediment transport and bottom changes, for varying (spectral) wave, flow and sediment concentration boundary conditions (BC), which ensure that the model produces only one out of an infinite set of possible answers.

Table I. Hydrodynamic conditions.

	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	Surge (m)	Tide	Duration (day)
Erosion	7	12.5	0.9	MHWS	1
Recovery	1	7	0	MHW	10

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. Modelling storm-induced erosion

The results of the simulation show that during the storm event the beach-dune profile was subjected to the extraction of  $141 \text{ m}^3/\text{m}$  of sand above 2.25 m CD, causing a retreat of 49 m of the dune crest (Figure 1). Such sand was transported seaward by the undertow current and accumulated in the wide planar stretch of the surf zone exhibited at approximately -1 m CD. In an initial stage (see profile after 6 hours), this sand flux formed a submerged bar, which seaward face continued to grow until the end of the storm. After 24 hours, the profile was filled between the vertical levels -1 and 2.25 m CD, within a horizontal cross-shore distance of about 117 m. This sand flux had the effect of smoothing out the slope of the pre-storm submerged profile.

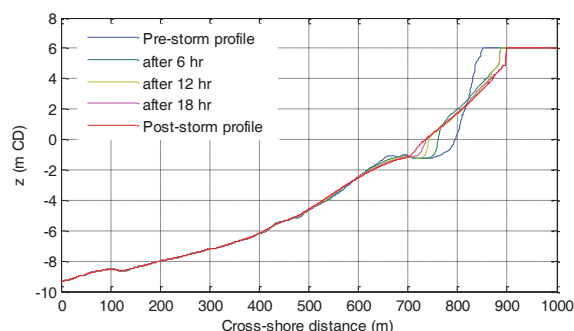


Fig. 1. Simulation of the storm impact.

### 3.2. Modelling post-storm recovery

The results of the simulation indicate that the model is capable of transferring sand from the surf zone to the foreshore (Figure 2). In this case, since the surge was null, the tide induced sea level varied between 1.54 and 2.76 m CD at the offshore boundary. The onshore sediment flux accumulated at the foreshore

stabilized after 5 days, when the exchanged volume reached approximately  $30 \text{ m}^3/\text{m}$  (Figure 3).

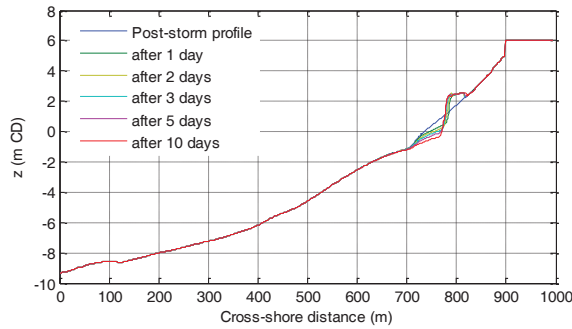


Fig. 2. Simulation of the beach recovery.

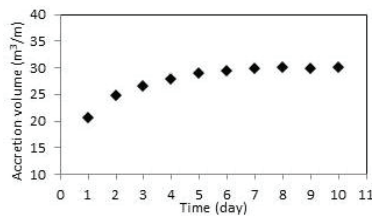


Fig. 3. Evolution of the accretion volume at the foreshore.

### 3.3. Underlying physics

It was considered, based on previous studies (Grasso *et al.*, 2011), that the intra-wave sediment transport caused by the wave asymmetry and skewness is the primarily process responsible for the onshore sediment transport. Under storm conditions intra-wave sediment transport due to wave asymmetry and wave skewness are expected to be relatively minor compared to long-wave and mean current contributions.

The wave asymmetry and skewness, parameterized as a function of the Ursell number,  $U_r$ , as follows:

$$S_k = \frac{0.79}{1 + \exp\left(\frac{-0.61 - \log U_r}{-0.35}\right)} \cos\left(-\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \tanh(0.64/U_r^{0.6})\right) \quad (1)$$

$$A_s = \frac{0.79}{1 + \exp\left(\frac{-0.61 - \log U_r}{-0.35}\right)} \sin\left(-\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \tanh(0.64/U_r^{0.6})\right)$$

were considered in the depth average advection-diffusion equation (Galappatti and Vreugdenhil, 1985), through the representative velocity,  $u_{reps}$ . This velocity is equal to the sum of the current flow velocity,  $u^E$ , with the advection velocity,  $u^a$ , from wave skewness and asymmetry, calculated as follows:

$$u_{reps} = u^E + u^a \quad (2)$$

$$u^a = \gamma_{ua} S_k - A_s \bar{u}_{rms} \quad (3)$$

where  $\gamma_{ua}$  is a free parameter which determines the magnitude and direction of net sediment transport. This parameter was considered equal to 1 in the beach recovery simulation and null in the storm simulation.

To calculate the sediment equilibrium concentration,  $C_{eq}$ , in the beach recovery simulation, it was applied the van Thiel-van Rijn (van Rijn, 2007) formulation, which reads as follows:

$$C_{eq} = \frac{A_{sb}}{h} \left( \sqrt{(u^E)^2 + 0.64u_{rms,2}^2} - u_{cr} \right)^{1.5} + \frac{A_{ss}}{h} \left( \sqrt{(u^E)^2 + 0.64u_{rms,2}^2} - u_{cr} \right)^{2.4} \quad (4)$$

where  $A_{sb}$  and  $A_{ss}$  are the bed load and suspended load coefficients (Soulsby, 1997), respectively;  $h$  is the depth;  $u^E$  is the Eulerian velocity (the average velocity of the short-wave in a fixed position);  $u_{cr}$  is the threshold velocity; and  $u_{rms,2}$  is the near-bed short-wave orbital velocity obtained from the wave-group varying wave energy including wave breaking induced turbulence, calculated as follows:

$$u_{rms,2}^2 = u_{rms}^2 + 1.45k_b \quad (5)$$

where  $u_{rms}$  is the instantaneous short-wave orbital velocity and  $k_b$  accounts for the breaking induced turbulence.

For the storm simulation, the sediment equilibrium concentration,  $C_{eq}$ , was calculated using the frequently applied Soulsby-van Rijn formulation (Soulsby, 1997), in which the sediment is stirred due to mean (short-wave averaged) and infragravity (wave group) velocities.

Another factor that plays a significant role in the berm formation during the accretion phase is the permeability of the beach. For this reason, the groundwater flow process was considered in the beach recovery simulation through the application of the principle of Darcy flow. The infiltration was calculated as follows:

$$w = -k_z \left( \frac{dp}{dz} + 1 \right) \quad (6)$$

where  $p$  is the groundwater head and  $k_z$  is the Darcy permeability coefficient of the aquifer in the vertical direction. The Darcy permeability coefficient of the aquifer was considered  $0.003 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Due to the large duration of the recovery phenomenon, the morphological factor,  $morfac$ , that speeds up the morphological time scale relative to the hydrodynamic timescale, was considered equal to 10 in the beach recovery simulation. In contrast, for the storm simulation this factor was considered equal to 1.

## 4. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

This paper describes the preliminary results of a study which objective is to test and improve the capacity of the XBeach model to simulate the physical processes that cause episodic events of beach erosion-recovery. Despite the use of real geomorphologic and hydrodynamic data, there was not enough topo-hydrographic information available for verifying the model. Thus, its application was done in a theoretical perspective, to test the model

capacity to simulate the underlying physics of beach-dune erosion and beach-recovery, under hydrodynamic conditions known in advance as inducing each of the two phenomenon.

The results obtained indicate that the model can simulate beach recovery if the processes known so far as the primarily responsible for the onshore transport and the berm formation are considered: wave asymmetry and skewness and groundwater flow. Questions like: how accurately does the model do it, how the accuracy varies with the phenomenon time scale and with the model spatial resolution, how does the phenomenon depend on the geomorphologic features of the beach-dune system (mainly the role of the foreshore slope); are yet to be answered and that can be better investigated using this model.

The next task should be calibrating the model, starting with the waves and following with the sediment transport, a task far from trivial. In the future, the model will be coupled with an aeolian transport model to simulate the formation of the echo dune and thus extend the beach recovery simulations to the time scale of months.

## REFERENCES

- Capitão, R., Sancho, F., Alenquer, N. e Proença B. (2009). Colmatação de falhas em dados de agitação marítima. O caso de Faro. *6<sup>as</sup> JPECP*, Funchal, CD-ROM, 12p.
- Carter, R.G.W., Hesp, P.A. and Nordstrom, K.F. (1990). Erosional landforms in coastal dunes. *Coastal Dunes. Form and Process*. John Wiley & Sons, England, pp. 217–250.
- Costa, M., Silva, R, e Vitorino, J. (2001). Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa Portuguesa. *2<sup>as</sup> JPECP*, Sines, CD-ROM, 20p
- Edelman, T. (1968). Dune erosion during storm conditions. *Proc. 11th Conf. Coastal Eng. ASCE*, 1, pp. 719–722.
- Fisher, J.S. and Overton, M.F. (1984). Numerical model for dune erosion due to wave uprush. *Proc. 19th Conf. Coastal Eng.*, ASCE, pp. 1553–1558.
- Galappatti, R. and Vreugdenhil, C.B. (1985). A depth integrated model for suspended transport. *J. Hydraul. Res.* 23 (4), 359–377.
- Grasso, F., Michallet, H. and Barthélemy, E., (2011). Sediment transport associated with morphological beach changes forced by irregular asymmetric, skewed waves. *J. Geoph. Res.* 116, 1-12.
- Kriebel, D.L. and Dean, R.G. (1985). Numerical simulation of time-dependant beach and dune erosion. *Coastal Engineering* 9, 221–245.
- Larson, M., Erikson, L. and Hanson, H. (2004). An analytical model to predict dune erosion due to wave impact. *Coastal Engineering* 51, 675–696.
- Larson, M. and Kraus, N.C. (1989). SBEACH: Numerical model for simulating storm-induced change. Report 1. Empirical formulation and model development. *Technical report CERC-89-9. US Army Eng. Wat. Exp. Stat.*, Coastal Engineering Research Center, USA, 256 pp.
- Oliveira, F.S.B.F. (2012a). Numerical modelling of dune erosion during storms. *Proc. IV CNMFTE*, LNEC, Lisboa, Portugal, pen-drive, 10 pp.
- Oliveira, F.S.B.F. (2012b). Application of the Duner model for dune erosion. *2<sup>as</sup> Jorn. Eng. Hidrográfica*, IH, Lisboa, Portugal, 315-318.
- Oliveira, F.S.B.F. (2013). Dune erosion during storms: application of different numerical models. *Proc. CNME*, Bilbao, Spain, 20 pp.
- Overton, M.F. and Fisher, J.S. (1988). Laboratory investigation of dune erosion. *J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.* 114, 367–373.
- Roelvink, D., Reniers, A., Dongeren, A., Vries, J.T., McCall, R. and Lescinski, J. (2009). Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal Engineering*, 56: 1133-1152.
- Sallanger, A.H. (2000). Storm impact scale for barrier islands. *J. Coastal Res.*, 16(3):890-895.
- Sancho, F., Oliveira, F.S.B.F. and Freire, P. (2012). Coastal dunes vulnerability indexes: a new proposal and application to Ria Formosa coast (Portugal). *Proc. 33rd Conf. Coastal Eng.*, ASCE, Santander, Spain, 12 pp.
- Soulsby, R. L. (1997). *Dynamics of Marine Sands*. Thomas Telford, London.
- van de Graaff, J. (1977). Dune erosion during a storm. *Coastal Engineering* 1, 99–134.
- van de Graaff, J. (1986). Probabilistic design of dunes; an example from The Netherlands. *Coastal Engineering* 9, 470–500.
- van der Meulen, T. and Gourlay, M.R. (1968). Beach and dune erosion test. *Proc. 11th ICCE*, ASCE, London, UK, 1, pp. 701–707.
- van Rijn, L. C. (2007). Unified view of sediment transport by currents and waves, part i, ii, iii and iv. *J. Hydraulic Eng.*, 133:649–689 (part I & II), 761–793 (part III & IV).
- Vellinga, P. (1982). Beach and dune erosion during storm surges. *Coastal Engineering* 6, 361–387.

# The effect of dune morphology longshore variation in the beach-dune system resilience

F. Oliveira

Laboratório Nacional de Engenharia Civil. foliveira@lnec.pt

**Abstract:** The present study consists on the analysis of the effect of the longshore variation of the frontal dune morphology in the beach-dune system morphodynamics during erosion events. Despite the predominance of the cross-shore component of the coastal processes under storm conditions, it is important to understand how the longshore gradient of such processes can affect the cross-shore component. The lack of field or laboratory data is an obstacle to the understanding of the underlying physics. Thus, this investigation is developed with a 2DH process-based numerical model. The morphology of the study zone is simplified in order to limit the complexity of the underlying physics and to be able to identify the driving processes more clearly. Initially, the bathymetry is uniform and only the frontal dune height varies alongshore. However, in time, as the dunes erode, only the topography above the foreshore becomes non-uniform, despite the volume of sediment extracted from the dune face which is transported seaward being higher for the highest dunes. Such sediment is stirred by the longshore current to the adjacent areas in front of the lowest dunes protecting these against erosion.

**Key words:** non-uniform beach, dune, erosion, submerged bar, morphodynamics.

## 1. INTRODUCTION

Beach-dune systems are the most important natural defences in the sea-land interface. Their episodic erosion, due to combined wave and surge action during maritime storms, can have a high risk, causing damage, or even loss, of infrastructures and natural environments. Therefore, it is important to capture the physics involved and, thus, to forecast accurately the impact of these episodes in order to provide credible information for suitable protection and management.

Coastal dune resilience to maritime storms has been mostly assessed through the application of cross-shore morphodynamic numerical models because, under such conditions, the cross-shore component of the coastal processes is predominant. These models can be empirical models, like the Duner model (Oliveira, 2012a, 2012b, 2013); semi-empirical models, like the SBeach model (Larson and Kraus, 1989); and deterministic models, also known as process-based models, like the Litprof model (DHI, 2008) and the XBeach model (Roelvink *et al.*, 2009). However, in order to improve the accuracy of beach morphological response predictions under extreme conditions of wave energy and surge, it is important to understand how the longshore gradient of such processes can affect the cross-shore component.

The objective of the present study is to assess the effect of the longshore variation of the frontal dune morphology in the beach-dune system morphodynamics, in particular, in the resilience of the beach-dune system as a whole, during erosion events. The lack of field or laboratory data (field observations and experiments that include the longshore direction are very rare; knowledge on

dune erosion is mainly based on large scale flume experiments) is an obstacle to the understanding of the underlying physics. Therefore, this investigation is developed with a credible 2DH (two dimensional, horizontal) process-based numerical model, the XBeach model. The results obtained were compared with the results of the 1D (one dimensional, cross-shore) simulation in order to identify the alongshore sediment transport gradient impact on the morphological evolution.

## 2. DATA AND METHOD

### 2.1. Morpho-sedimentologic conditions

The morphology of the study zone was simplified in order to limit the complexity of the underlying physics and to be able to identify the driving processes more clearly. The study zone covers a coastal area with 3500x1000 m<sup>2</sup> (longshore and cross-shore extensions, respectively). The initial (t = 0 s) morphologic conditions were based on a representative cross-shore profile located in the Ancão spit, near Faro, Algarve, region where dune notching can be observe, as illustrated in Figure 1. The profile geometry was obtained by joining the depth, obtained through a hydrographic survey, to the foreshore-berm-dune elevation, obtained through a LIDAR topographic survey. The initial bathymetry and topography of the foreshore and berm were considered uniform alongshore for the total study area. Only the frontal dune height varied in the sequence of the five longshore stretches which compose the study zone. In the lateral and central stretches, with 1000 and 500 m of alongshore extension, respectively, the dune height was 9 m above the nautical Chart Datum (CD), presently at 2.15 m below mean sea level (MSL) in this coastal region (Figure 2). In the intermediate stretches, with



500 m of alongshore extension, the dune height was 6 m above CD (Figure 2). The x and y coordinates of the uniform Cartesian grid applied were aligned with the cross-shore and longshore directions, respectively. It was used the grid spacing  $dx=1$  m and  $dy=20$  m.

The profile sediment grain size was characterised by the statistic parameters median grain diameter,  $D50=0.5$  mm, and 90th percentile,  $D90=0.8$  mm, based on the results of the grain size analysis of sediment samples near the location of the representative cross-shore profile. The sediment density was 2.65.



Fig. 1. Dune notch in the coast of Algarve, Portugal.

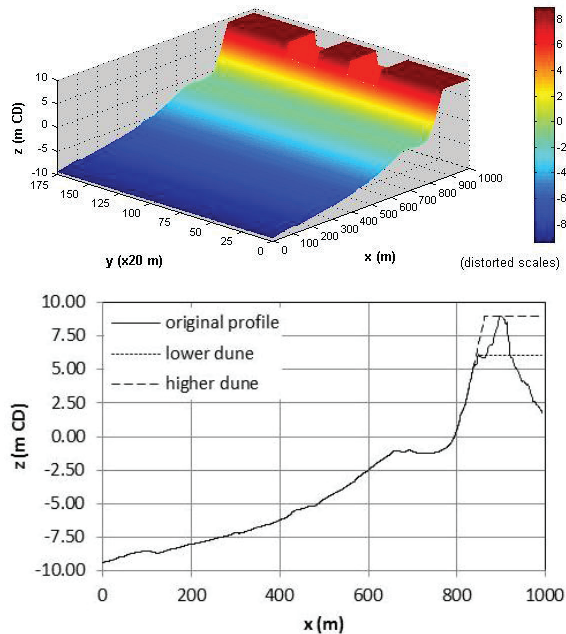


Fig. 2. Initial topo-hydrography: profiles (below) and 2DH (above).

### 2.2. Hydrodynamic storm conditions

The wave and sea level ( $\eta$ ) series considered in the simulations are based in the 50-year return period maritime storm parameters in front of Ancão spit. For the storm surge elevation (residual obtained from the difference between the observed sea level

and the predicted tidal level), it was applied the 50-year return period surge, 0.9 m, calculated as described by Sancho *et al.* (2012) and considered constant during the storm. The maximum sea level applied at the offshore boundary, 4.42 m CD, resulted from of the sum of the mean high water spring (MHWS) tidal level determined at Faro, 3.52 m CD, with the surge (Figure 3). The duration of the simulated storm was 24 hours. The maximum significant wave height and wave peak period associated to a 50-year return period at the offshore of the Ancão spit are  $H_{s,max} = 7.00$  m and  $T_p = 12.5$  s, respectively, according to the same authors (Sancho *et al.*, 2012). These wave parameters, together with a mean wave direction correspondent to an angle of incidence of  $30^\circ$  with the normal to the shore, were considered constant in the boundary conditions time series at the incoming wave boundaries of the 1D and 2DH simulations.

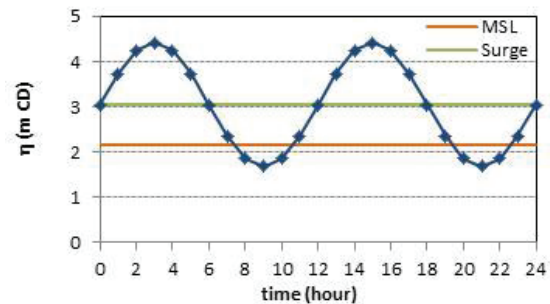


Fig. 3. Time varying offshore sea level boundary condition.

### 2.3. Morphodynamic numerical model

The XBeach (eXtreme Beach behaviour) model (Roelvink *et al.*, 2009; Roelvink *et al.*, 2010) can simulate the main processes which occur in the four regimes of maritime storm impact described by Sallanger (2000): swash, collision, overwash and inundation. However, only the first two were considered in the present case study.

It solves coupled 2DH equations for wave propagation, flow, sediment transport and bottom changes, for varying (spectral) wave, flow and sediment concentration boundary conditions. The main governing equations are:

- a) The time dependent short wave action balance on the scale of wave groups. The directional distribution of the short wave action density is taken into account in the model, but the frequency distribution is reduced to a single representative peak frequency, assuming a narrow banded incident spectrum.
- b) The roller energy balance. It is coupled to the wave-action/energy balance where dissipation of wave energy serves as a source term for the roller energy balance. Similar to the wave action the directional distribution of the roller energy is taken

into account whereas the frequency spectrum is represented by a single mean frequency.

- c) The shallow water momentum and mass balance equations, to solve the surface elevation and flow, including infragravity waves and unsteady wave induced currents. To include short wave induced mass fluxes and return flows in shallow water, the Generalized Lagrangian Mean (GLM) formulations, without Coriolis forcing, are used in the model.
- d) The sediment transport rates formulations, in which the sediment concentrations in the water column are solved using a depth-averaged advection-diffusion equation with a source-sink term based on an equilibrium sediment concentration equation.
- e) The avalanching formulation in order to simulate dune slumping.
- f) The continuity equation to solve the bed level change due to sediment transport rate gradients.

The model uses a staggered grid, in which conservative quantities (water level, bed level, etc) are calculated in cell centres and fluxes (velocities, sediment transport, radiation stress gradients, etc) are calculated in cell interfaces.

Boundary conditions ensure that the model produces only one out of an infinite set of possible answers.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The 1D simulations performed for each case, lower dune (LD) and higher dune (HD), reveal that the dune crest retreat was significantly higher in the LD than in the HD (Figure 4) and that the sand volume eroded from the initial foreshore (between 1.68 and 4.42 m CD) and above the maximum storm surge level (MSSL), and then transported seaward, was 15% higher in the HD than in the LD (Figure 5). In result, the filling of the wide planar stretch of the surf zone exhibited at approximately -1 m CD in the pre-storm profile (see Figure 4), was greater for the HD (Figures 4 and 6). The most likely explanation is that the larger retreat of the LD (when comparing with the retreat of the HD) leads to a simultaneous larger retreat of the foreshore, and, consequently, smaller erosion at the upper part of the profile submitted to wave action.

In the 2DH simulation the profile evolution for each case, LD and HD, is affected by the morphological evolution of the adjacent zone located at the incoming wave side. The dune crest retreat is not as large as in the 1D simulations (Figure 4). The sand volume eroded from the foreshore and above MSSL, and then transported seaward, was 17% higher in the HD than in the LD (Figure 5), approximately the same correlation as in the 1D simulations. However, its magnitude was reduced by 25% (comparing with

the 1D simulations), which is in correlation with the smaller retreat of the dune crest. It is known that under storm conditions dune erosion is dominated by wave group generated long waves. A possible explanation for the smaller impact of the storm in the 2DH simulation is the effect of short wave spreading on long waves, but that must be further investigated.

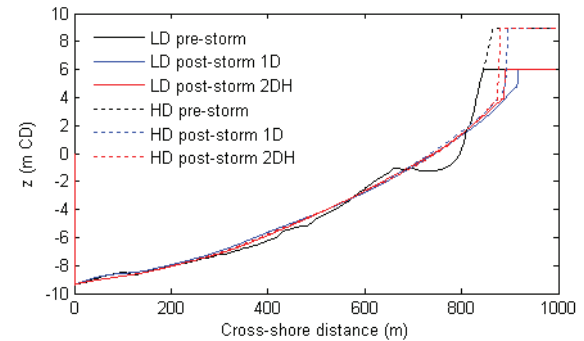


Fig. 4. Profile evolution for the HD and LD cases in the 1D and 2DH simulations.

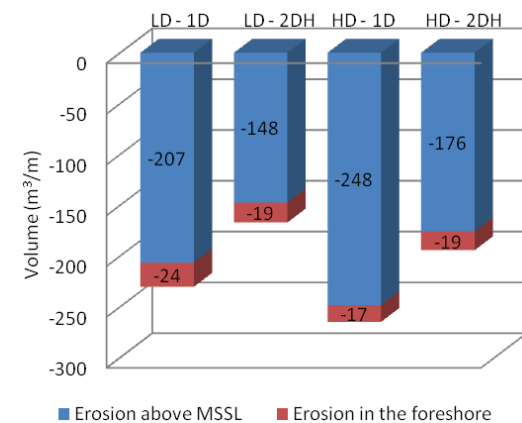


Fig. 5. Erosion volume for the HD and LD cases in the 1D and 2DH simulations.

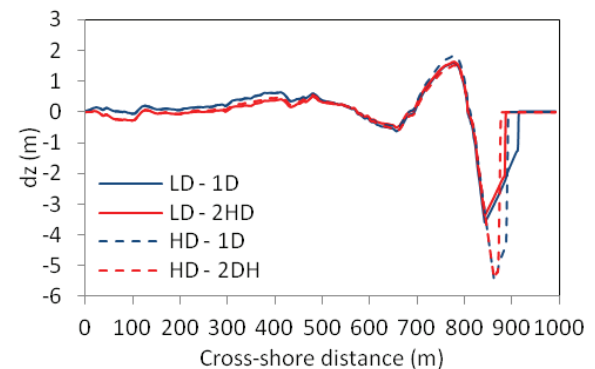


Fig. 6. Variation of the profile elevation ( $z$  coordinate) for the HD and LD cases in the 1D and 2DH simulations.

Despite the erosion volume of the HD being higher than the erosion volume of the LD for the 2DH simulation, the change in the profile elevation ( $z$  coordinate), shown in Figure 6, reveals that the erosion in the lower foreshore and the deposition in the surf zone are very similar in both cases, LD and HD. Therefore, it can be concluded that part of the

volume eroded from the HD was stirred by the longshore current and deposited in the LD surf zone. This redistribution of sediment in the longshore direction results in protection of the LD by the HD against the storm impact.

#### 4. CONCLUSIONS

The objective of the present study was to assess the effect of the longshore variation of the frontal dune morphology in the beach-dune system morphodynamics, in particular, in the resilience of the beach-dune system as a whole, during erosion events. The lack of field or laboratory data is an obstacle to the understanding of the underlying physics. Therefore, to achieve the objective of the study, a credible 2DH (two dimensional, horizontal) process-based numerical model, the XBeach model, was applied to a simplified morphology, established in order to limit the complexity of the underlying physics and to be able to identify the driving processes more clearly, and the results obtained were compared with the results of the 1D (one dimensional, cross-shore) simulation.

This investigation allowed to conclude the following:

- the alongshore variation of the dune height causes a greater extraction of sediment volume from the frontal dune face at the highest dunes and a larger retreat (landward displacement) of the dune crest at the lowest dunes;
- the sediment eroded at the highest dunes increases the resilience of the beach-dune system as a whole because it is later redistributed by the longshore current and deposited in the surf zone in front of the lowest dunes, thus, protecting them against the storm impact;
- despite the predominance of the impact of the erosion processes cross-shore component during storm events, the oblique wave incidence damps alongshore variations of the surf zone bathymetry, turning it uniform alongshore;
- the 2DH simulation produces longshore effects that result in a smaller, about 25% less, dune erosion volume than the 1D simulations. The most likely explanation is the effect of short wave spreading on long waves, but that must be further investigated, particularly because such predictions are not on the safe side for engineering studies.

#### REFERENCES

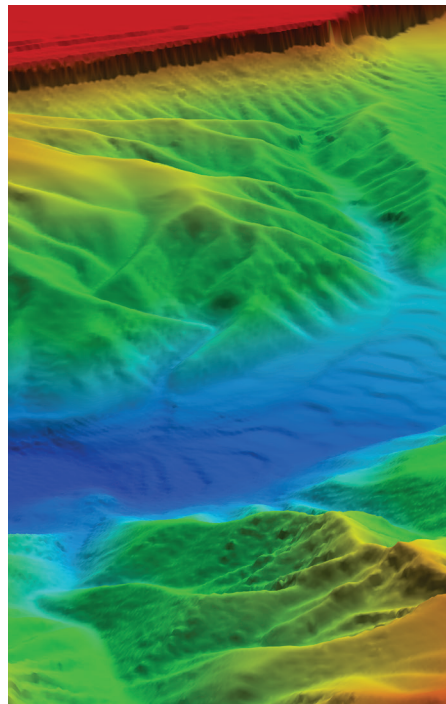
- DHI (2008). Profile development. *LITPROF user guide*. Danish Hydraulic Institute, Denmark, 74 pp.
- Larson, M. and Kraus, N.C. (1989). SBEACH: Numerical model for simulating storm-induced change. Report 1. Empirical formulation and model development. *Technical report CERC-89-9*. US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS, 256 pp.
- Oliveira, F.S.B.F. (2012a). Numerical modelling of dune erosion during storms. *IV Conferência Nacional em Mecânica dos Fluidos, Termodinâmica e Energia*, LNEC, Lisboa, Portugal, pen-drive, 10 pp.
- Oliveira, F.S.B.F. (2012b). Application of the Duner model for dune erosion. *2<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, IH, Lisboa, Portugal, 315-318.
- Oliveira, F.S.B.F. (2013). Dune erosion during storms: application of different numerical models. *Congress on Numerical Methods in Engineering*, Bilbao, Spain, (<http://congress.cimne.com/metnum2013/Proceedings/>), 20 pp.
- Roelvink, D., Reniers, A., Dongeren, A., Vries, J.T., McCall, R. and Lescinski, J. (2009). Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal Engineering*, 56: 1133-1152.
- Roelvink, D., Reniers, A., Dongeren, A., Vries, J.T., Lescinski, J. and McCall, R. (2010). XBeach model description and manual. *Report*. Unesco-IHE Institute for Water Education, Deltares and Delft University of Technology, 106 pp.
- Sallanger, A.H. (2000). Storm impact scale for barrier islands. *Journal of Coastal Research*, 16(3):890-895.
- Sancho, F., Oliveira, F.S.B.F. and Freire, P. (2012). Coastal dunes vulnerability indexes: a new proposal and application to Ria Formosa coast (Portugal). *33rd International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, Santander, Spain, pen-drive, 12 pp.

# OCEANOGRÁFIA QUÍMICA

---

3.<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica  
Lisboa, 24, 25 e 26 de junho de 2014

---







# Metodologias para avaliação da contaminação de sedimentos marinhos

M. Valença<sup>(1)</sup>, A. Rocha<sup>(1)</sup> e C. Palma<sup>(1)</sup>,

(1) Instituto Hidrográfico, manuela.valenca@hidrografico.pt

**Resumo:** Na caracterização dos sedimentos e respetiva avaliação dos níveis de contaminação por metais pesados ou hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, podem ser aplicadas diferentes metodologias. A integração da informação obtida individualmente para cada método melhora a interpretação global. Como exemplo da aplicação destas metodologias, são apresentados os resultados obtidos de metais e PAHs em sedimentos superficiais do rio Tejo, no período de 2002 a 2010, correspondentes a um programa de monitorização do Instituto Hidrográfico. Estes resultados são tratados com metodologias diversas de modo a se poder concluir sobre a sua contaminação. Os métodos utilizados são: teor total, análise de componentes principais, aplicação dos critérios definidos pela Convenção para a Proteção do Ambiente Marinho do Atlântico Nordeste, avaliação de riscos ecotoxicológicos e carcinogénicos e o sistema de informação geográfica. Tendo em consideração as metodologias aplicadas, pode-se afirmar que as estações que sofrem maior efeito antropogénico são as situadas na margem sul do estuário.

**Palavras chave:** geoquímica, sedimento, metais e PAHs.

## 1. INTRODUÇÃO

Os sedimentos são o principal recetor dos poluentes antropogénicos lançados na coluna de água, desempenhando um papel fundamental na biodisponibilidade de contaminantes nos ecossistemas marinhos. Por este motivo, a qualidade dos sedimentos tornou-se um problema maior em termos ecológicos. Em resposta às exigências de proteção dos recursos aquáticos e da necessidade de prever os possíveis efeitos tóxicos dos sedimentos contaminados nos organismos, foram desenvolvidas diversas abordagens que visam avaliar o nível de contaminação do sedimento e aferir os potenciais riscos para o ecossistema e para os seres vivos em termos ecotoxicológicos.

O nível de contaminação dos sedimentos por metais e por hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs) pode ser avaliado por comparação das respetivas concentrações com valores de referência. No que diz respeito à contaminação por metais, as concentrações no sedimento são normalizadas com o Al e recalculadas para uma composição de 5% do normalizador sendo posteriormente comparadas com valores de *Background* (OSPAR, 2008). Adicionalmente, as concentrações de metais podem ser confrontadas com Critérios de Avaliação Ambiental (EACs) que estabelecem valores abaixo dos quais as espécies marinhas estão protegidas de efeitos crónicos (*LOWER EAC*) e valores máximos para os quais se espera que não promovam efeitos tóxicos (*UPPER EAC*). As concentrações de PAHs são normalizadas para 2,5% de carbono orgânico e comparadas com os Critérios de Avaliação de *Background* (BACs) desenvolvidos também pela OSPAR (OSPAR, 2009).

Duas outras abordagens comuns, na averiguação da presença de contaminação por metais, é a determinação do Fator de Enriquecimento (FE) e do Índice de Geoacumulação (Igeo) que comparam os níveis atuais com níveis pré-industriais (Rubio *et al.*, 2000; Vale *et al.*, 2008). O FE utiliza o Al como normalizador, pois é um dos elementos mais abundantes na Terra e, geralmente, não apresenta problemas de contaminação. Estes dois índices podem ser determinados segundo as seguintes expressões:

$$FE = \frac{(C_i^{sed}/C_{Al}^{sed})}{(C_i^{BG}/C_{Al}^{BG})} \quad I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_i^{sed}}{1,5 \times C_i^{BG}} \right)$$

Onde  $C_i^{sed}$  e  $C_{Al}^{sed}$  são as concentrações do metal e de alumínio, respetivamente, no sedimento avaliado e  $C_i^{BG}$  e  $C_{Al}^{BG}$  são as concentrações de *background* do metal e de alumínio, respetivamente.

Direcionando os estudos no sentido da avaliação de riscos para o ecossistema e para os seres vivos podem ser efetuadas duas abordagens distintas: a avaliação do risco potencial carcinogénico e a avaliação do risco potencial para o ecossistema. Na apreciação do risco potencial carcinogénico do sedimento são determinados os Fatores Benzo(a)pireno Equivalentes (BaPE) que resultam do somatório dos produtos das concentrações de cada PAH com evidência cancerígena/mutagénica e os respetivos Fatores de Equivalência de Toxicidade (TEF) (Arias, *et al.*, 2010). No que se refere à avaliação do risco potencial para o ecossistema são empregues os Quocientes Médios de Risco (RQs) determinados tendo em conta dois conjuntos de guias de qualidade ( $C_{QVs}$ ) que representam concentrações negligenciáveis (NCs) e concentrações máximas permitidas (MPCs) (Liu, *et*

al., 2010). Os  $RQ_{SNC}$  e os  $RQ_{SMP}$  são determinados pelos quocientes entre a concentração do PAH e o respetivo  $C_{QV(NC)}$  e  $C_{QV(MPC)}$ , respetivamente. O risco potencial para o ecossistema é estabelecido a partir de três classificações (risco negligenciável; risco moderado e risco severo) definidas tendo em conta os intervalos atribuídos a  $RQ_{SNC}$  e  $RQ_{SMP}$ .

Porém, as abordagens anteriormente apresentadas avaliam apenas o risco potencial para os ecossistemas de modo individual ou para uma classe concreta de contaminantes. No entanto, sendo os sedimentos um reservatório de múltiplos contaminantes, a toxicidade individual de cada contaminante pode ser distinta da toxicidade combinada. Numa tentativa de prever efeitos biológicos adversos decorrentes da exposição do sedimento contaminado por múltiplos contaminantes, são aplicados os Guias de Qualidade para o Sedimento (SQGs). Long, *et al.* (1995) e MacDonald, *et al.* (1996) desenvolveram, empiricamente, dois conjuntos de SQGs com base em estudos que combinam as concentrações de metais e PAHs em sedimentos e os respetivos efeitos biológicos adversos: efeitos de gama baixa (ERL)/efeitos de gama média (ERM) e níveis de efeitos residuais (TEL)/níveis de efeitos prováveis (PEL). A classificação do risco é efetuada tendo em conta quatro classes: baixo risco, médio-baixo risco, médio-alto risco e alto risco. Esta classificação foi definida consoante intervalos de  $mERM_q$  e  $mPEL_q$  com o intento de criar prioridades de intervenção e aos quais corresponde uma probabilidade de toxicidade previamente estudada.

$$mERM_q = \frac{\sum \left( \frac{C_i}{ERM_i} \right)}{n} \quad mPEL_q = \frac{\sum \left( \frac{C_i}{PEL_i} \right)}{n}$$

onde  $C_i$  é a concentração individual do contaminante no sedimento,  $ERM_i$  ou  $PEL_i$  o respetivo SQG e  $n$

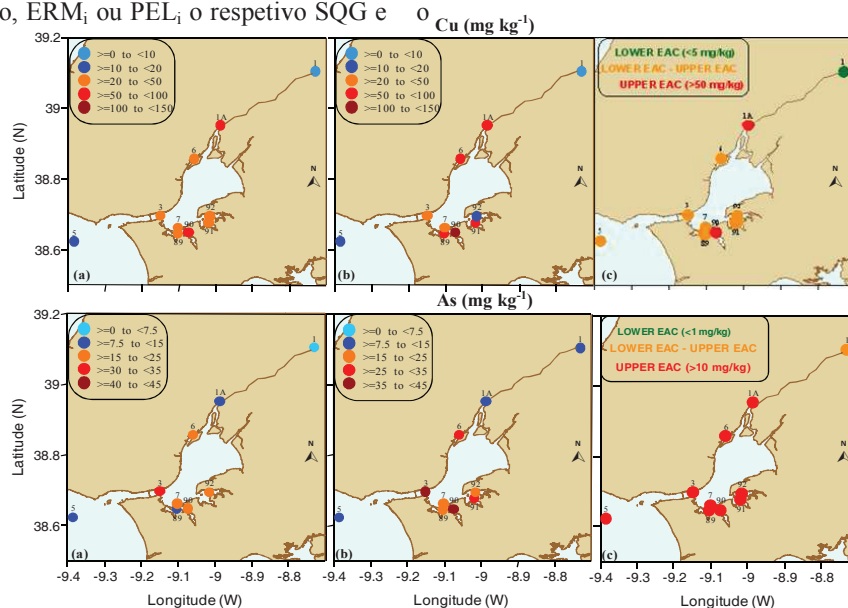


Fig. 1. Distribuição espacial das concentrações de Cu e As (a); concentrações normalizadas de Cu e As (OSPAR 2008) (b); classificação espacial de acordo com o Critério de Avaliação Ambiental (OSPAR, 2008) (c).

número de contaminantes considerados.

## 2. ÁREA E PERÍODO DE ESTUDO

Com vista à aplicação das diferentes abordagens referidas anteriormente, foram utilizados os resultados obtidos no estuário do rio Tejo, no âmbito do programa de monitorização “Vigilância da Qualidade do Meio Marinho” desenvolvido pelo Instituto Hidrográfico. Este estuário é caracterizado por influência antropogénica, maioritariamente na margem sul, o que torna relevante o seu estudo. O período considerado compreende as amostragens de 10 estações, realizadas de 2002 a 2010, tendo sido cada estação caracterizada pela concentração média de cada um dos parâmetros.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela I apresenta-se os valores máximos (max) e mínimos (min), da granulometria (%) correspondente à fração  $<63\mu\text{m}$  (silte+argila) nas estações sob estudo.

Tabela I: Valores máximos e mínimos da granulometria na fração  $<63\mu\text{m}$  (silte+argila).

	Estações									
	1	1A	3	5	6	7	89	90	91	92
min	0,23	51	4,7	20	28	24	5,5	37	53	37
max	5,9	89	92	28	91	66	75	96	98	75

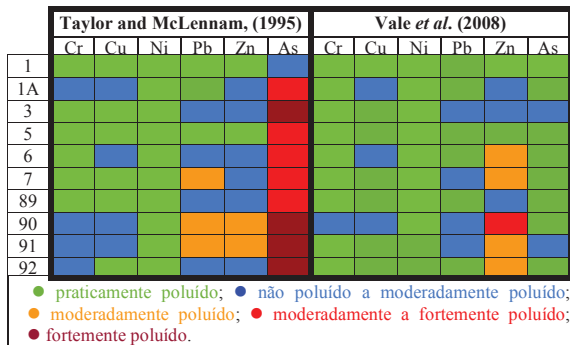
Na Fig. 1 são apresentadas as concentrações médias dos metais Cu e As, as concentrações normalizadas (OSPAR, 2008) e a classificação de acordo com os EAC (LOWER EAC e UPPER EAC) (OSPAR, 2008). A fim de determinar a contaminação dos metais em sedimentos e comparar o atual nível com níveis pré-industriais utilizaram-se os índices Igeo e o FE. Na Tabela II apresentam-se os FE usando valores de referência definidos por Taylor and McLennan (1995) verificando-se, que com exceção

da estação 1, todas as estações apresentam valores de metal provenientes de fontes antropogénicas. Na Tabela III apresentam-se os Igeo utilizando valores de referência definidos por Taylor and McLennan (1995) e por Vale *et. al* (2008) sendo o grau de poluição classificado de acordo com Müller (1979). Como os valores de referência utilizados são diferentes, a classificação do sedimento em termos de poluição também difere.

Tabela II: Fator de Enriquecimento.

	1	1A	3	5	6	7	89	90	91	92	
Taylor and McLennan (1995)	Cr	0,7	2,4	2,4	2,2	2,9	2,8	3,2	5,8	3,9	2,0
	Cu	0,5	5,0	2,2	1,1	4,3	3,2	4,2	6,8	3,6	1,2
	Ni	0,1	5,0	2,2	1,1	1,9	3,2	4,2	6,8	3,6	1,2
	Pb	0,7	1,8	7,6	2,2	5,9	7,9	7,2	15	8,1	2,6
	Zn	0,9	3,3	5,6	2,2	8,9	6,8	7,4	14	8,6	3,0
	As	8,2	14	41	14	30	27	22	45	33	17
	Fe<0,5 mistura de camadas com sedimentos menos contaminados										
	Fe entre 0,5 e 1,5 metal proveniente de fontes naturais										
	Fe>1,5 metal proveniente de fontes antropogénicas;										

Tabela III: Comparação dos Índices Geoquímicos.



Para a análise do PCA usou-se o programa *Statistica* utilizando uma rotação *Varimax normalized*. O 1º fator explica 58,8% da variância e, relacionando o As, Cr, Hg, Pb e Zn, normalmente com teores muito elevados, como estando diretamente relacionados com enriquecimento antropogénico. O 3º fator explica 12,8% da variância e isola o Al dos restantes metais. O 2º fator explica 9,1% da variância e agrupa a fração fina, Fe, Mn, Li, Cu e Ni. A comparação dos fatores 1 e 3, após a análise PCA, está representada na Fig. 2.

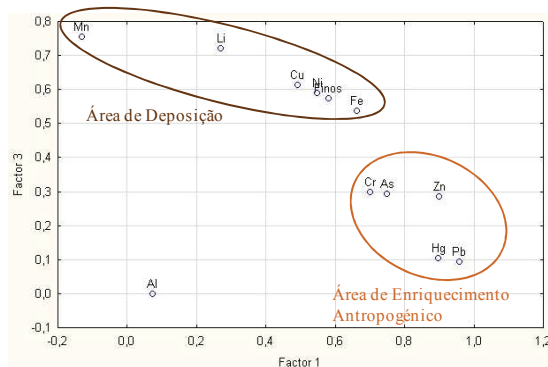


Fig. 2. Comparação do factor 1 e 2 obtidos na análise PCA.

Na Tabela IV estão apresentadas as concentrações dos PAHs estudados, o teor em PAHs carcinogénicos ( $\Sigma$ CPAH) e os BaPE.

Adicionalmente, estão assinaladas as estações e os contaminantes para as quais são excedidos os BACs.

Tabela. IV. Concentrações de PAHs nos sedimentos ( $\mu\text{g kg}^{-1}$  bs), somatório dos PAHs analisados ( $\Sigma$ PAH), somatório dos PAHs cancerígenos ( $\Sigma$ CPAH) e Fatores Benzo(a)pireno Equivalentes ( $\mu\text{g kg}^{-1}$  bs): ● Valores superiores aos BACs.

	1	1A	3	5	6	7	89	90	91	92
N	5,3	32	11	6,0	39	30	31	37	39	24
Phe	3,5	7,3	6,8	4,8	34	48	45	61	5,7	6,5
A	1,5	4,1	3,8	2,4	8,9	20	11	20	3,1	2,5
Fluo	5,2	8,8	13	7,8	47	79	89	116	14	6,8
P	5,1	9,0	11	7,2	39	68	53	104	14	6,1
BaA	3,2	6,1	5,4	4,0	21	39	29	48	7,4	16
Chr	4,8	8,1	6,3	5,8	27	46	36	55	7,8	4,6
BbF	4,7	4,3	2,5	3,5	12	18	19	30	6,6	1,8
BkF	2,3	2,6	1,3	3,2	9,4	14	11	15	3,3	0,5
BaP	3,4	4,6	3,0	4,3	12	17	31	30	7,3	5,1
Ind	3,7	12	5,5	4,9	6,5	12	21	18	9,5	10
DBA	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
BghiP	4,1	12	5,7	5,7	6,5	12	19	17	9,7	11
$\Sigma$ PAH	47	111	75	60	253	403	394	549	126	95
$\Sigma$ CPAH	22	38	24	26	87	146	147	196	42	38
BaPE	4,2	6,5	4,1	5,2	15	23	37	37	9,1	7,8

Por observação da Tabela II pode-se referir que os PAHs mais abundantes são o naftaleno e o pireno seguidos do fluoranteno e indeno(1,2,3-cd)pireno. Contudo, os PAHs para os quais se observam excedências dos BACs, em praticamente todas as estações, são o naftaleno, o antraceno, o pireno e o benzo(a)antraceno. Os valores mais altos dos fatores BaPE e da soma de PAHs cancerígenos são nas estações de influência industrial (6, 7, 89 e 90).

Na Fig. 3 está apresentado, para cada estação, o risco potencial para o ecossistema avaliado segundo a aplicação dos RQs. Apesar de ser possível efetuar uma avaliação restrita a cada PAH, na figura está apenas refletido o risco associado ao somatório dos PAHs.

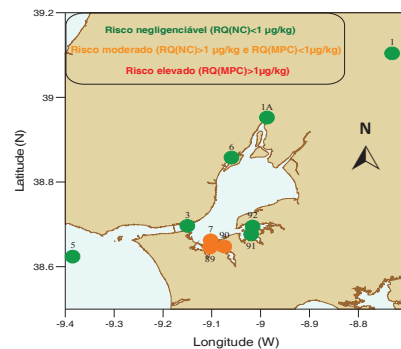


Fig.3. Avaliação do risco potencial para o ecossistema através dos coeficientes médios de risco ( $RQ_{NC}$  e  $RQ_{MPC}$ ).

Verifica-se que são as estações da margem sul aquelas que apresentam contaminação por PAHs devendo ser tomadas medidas de controlo e remediação do local uma vez que estão associados riscos moderados.

Na Fig. 4 apresentam-se, para cada estação, os mERMqs e os mPELqs que foram calculados através de 27 ERMs e PELs, respetivamente. De acordo com a classificação descrita anteriormente, os sedimentos do estuário do rio Tejo podem classificar-se em duas classes: baixo e médio-baixo risco ecotoxicológico.



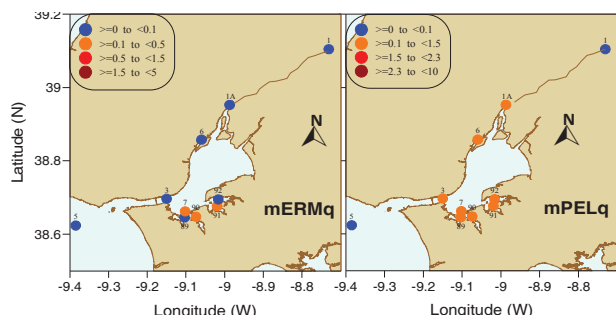


Fig.4. Avaliação da contaminação combinada de sedimentos através dos coeficientes médios de ERM e PEL para metais e PAHs.

Na avaliação dos mERMqs, verifica-se que, para a maior parte das estações, a prioridade de intervenção é baixa. São exceções as estações 7, 90 e 91 que foram classificadas como prioridade de intervenção média-baixa. Contudo, na apreciação dos mPELqs, em geral, todas as estações são consideradas como tendo prioridade de intervenção média-baixa, à exceção das estações mais a montante e a mais a jusante da zona estudada. A divergência entre as classificações obtidas pelas duas abordagens está relacionada com o facto de os guias PEL serem mais baixos que os guias ERM o que origina valores de mPELq maiores que os valores de mERMq. Deste modo e, sendo relativamente semelhantes os intervalos de classificação das duas abordagens, poderão ocorrer classificações superiores, como é o caso, quando a avaliação do risco ecotoxicológico/prioridade de intervenção é efetuada por mPELq.

#### 4. CONCLUSÕES

A distribuição espacial dos metais no estuário do rio Tejo está relacionada com a fração inferior a 63  $\mu\text{m}$  nos sedimentos, enquanto a distribuição dos PAHs está mais associada às atividades de navegação que ocorrem no estuário. A aplicação das diferentes metodologias (Tabela V), para avaliar a contaminação dos sedimentos, deve ser encarada com precaução, uma vez que para cada uma são utilizados valores de referência que podem não ser os mais adequados ao estudo do estuário em causa.

Tabela V: Comparação das diversas metodologias.

	1	1A	3	5	6	7	89	90	91	92
V. Referência <sup>(1)</sup>	2•	4•	2•	5•	5•	5•	6•	5•	3•	
UPPER EAC <sup>(1)</sup>	2•	3•	•	2•	3•	3•	4•	3•	2•	
Igeo <sup>(2)</sup>	•	4•	3•	•	4•	4•	5•	5•	5•	4•
Igeo <sup>(3)</sup>	•	2•	3•	•	2•	2•	•	4•	3•	•
FE <sup>(2)</sup>	•	6•	6•	5•	6•	6•	6•	6•	6•	6•
BaPE e SCPAHs <sup>(4)</sup>										
BACs <sup>(1)</sup>	7•	2•	5•	4•	7•	8•	8•	8•	3•	2•
RQs <sup>(5)</sup>										
mErmQ <sup>(6)</sup>										
mPELQ <sup>(6)</sup>										

(1) OSPAR 2008; (2) Taylor and McLennan, 1995; (3) Vale *et al.* 2008; (4) Arias, *et al.*, 2010; (5) Liu, *et al.*, 2010; (6) Long *et al.* 1995 e MacDonald *et al.*, 1996; • Valores que ultrapassam

Os valores de *background* utilizados podem variar de região para região, uma vez que estes valores estão associados à constituição da crosta no local em estudo. O cálculo do Igeo para o As segundo Taylor

and McLennan, 1995, origina resultados com estações fortemente poluídas, enquanto a aplicação do mesmo índice de acordo com Vale *et al.*, 2008, essas mesmas estações são designadas como não poluídas a moderadamente poluídas.

Tendo em consideração as nove metodologias aplicadas, pode-se afirmar que as estações que sofrem maior efeito antropogénico são as situadas na margem sul do estuário (estações 7, 89 e 90).

#### REFERÊNCIAS

- Arias, A.H., Marcovecchio, J.E., Freije, R.H., Ponce-Velez, G., Botello, A.V. (2010). Sources analysis and equivalent toxicity assessment of PAHs impacted sediments in Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Hidrobiológica*, 20:1, 41-56.
- Liu, X., Xu, M., Yang, Z., Sun, T., Cui, B., Wang, L., Wu, D. (2010). Sources and risk of polycyclic aromatic hydrocarbons in Baiyangdian Lake, North China. *Journal of Environmental Science and Health Part A*. 45, 413-420.
- Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19, 81-87.
- MacDonald, D.D., Carr, R.S., Calder, F.D., Long, E.R., and Ingersoll, C.R. (1996). Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. *Ecotoxicology* 5:253-278.
- Müller, G., (1979) Schwermetalle in den sedimenten des RheinsdVeraänderungen seitt 1971. *Umschan* 79:778-783.
- OSPAR Commission - CEMP Assessment Manual, (2008). Co-ordinated Environmental Monitoring Programme-Assessment manual for contaminants in sediments and biota. OSPAR Commission, 39 p.
- OSPAR Commission – Background Document on CEMP Assessment Criteria for QSR 2010, (2009). OSPAR Commission, 25 pp.
- Rubio, B; Nombela, M.A; Vilas, F. (2000). Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): an assessment of metal pollution. *Marine Pollution Bulletin* 40:968-980.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., (1995). The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews in Geophysics* 33: 241-265.
- Vale, C., Canário, J.; Caetano, M.; Lavrado, J.; Brito, P., (2008) Estimation of the anthropogenic fraction of elements in surface sediments of the Tagus Estuary (Portugal) *Marine Pollution Bulletin* 56:1353-1376.

## Caraterização Geoquímica da Zona Piloto (S. Pedro de Moel)

A. Gama <sup>(1)</sup>, C. Pólvara <sup>(1)</sup>, M. Valença <sup>(1)</sup>, A. Oliveira <sup>(1)</sup> e C. Palma <sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico, ana.gama@hidrografico.pt

**Resumo:** No âmbito de um estudo de monitorização ambiental na Zona Piloto (ZP), foram analisados parâmetros físico-químicos em amostras de água e sedimentos. A ZP, ao largo de S. Pedro de Moel, engloba uma área com cerca de 320 km<sup>2</sup> (Decreto-Lei n.º 5/2008).

Neste trabalho, apresentam-se os resultados de metais obtidos da análise de amostras de água e os resultados da análise granulométrica, conteúdo em carbonato de cálcio e metais em amostras de sedimento superficial.

Os teores de Cd, Cu, Pb, Hg e Zn, na matriz água, não ultrapassaram o estabelecido pelos Critérios de Avaliação Ecotoxicológicos (CAE) (OSPAR, 2008) para águas. O teor médio de Ni ultrapassa ligeiramente o valor estabelecido pelo CAE. Na matriz sedimento, e de acordo com os CAE (OSPAR, 2008) para sedimentos, constatou-se que, com exceção do As, os teores dos metais são inferiores ao *UPPER EAC*.

**Palavras chave:** Zona Piloto, sedimento e águas, metais.

### 1. INTRODUÇÃO

No período de maio de 2011 a agosto de 2012, foi realizado um estudo de caracterização ambiental da Zona Piloto (ZP). Este estudo multidisciplinar contou com a colaboração das equipas de Hidrografia, Geologia Marinha, Oceanografia e Química Marinha, e resulta de um protocolo efetuado entre o Instituto Hidrográfico e a empresa ENONDAS – Energia das Ondas, S.A..

De acordo com o Decreto-Lei n.º 5/2008, de 8 de janeiro, a ZP constitui o espaço marítimo delimitado sob soberania ou jurisdição nacional em águas de profundidade superior a 30 m (offshore), para testes e implementação de estruturas e equipamentos de aproveitamento de energia renovável, nomeadamente da energia das ondas. Apresenta uma área com cerca de 320 km<sup>2</sup>, ao largo de S. Pedro de Moel, entre os paralelos 39° 57' 29.99" N e 39° 47' 30.00" N e limitada a oeste pelo meridiano 09° 12' 00.00" W e a este pela batimétrica dos 30 m.

De modo a avaliar a qualidade do meio marinho, as amostras de água e de sedimento colhidas nas campanhas foram analisadas em termos dos parâmetros físico-químicos pela Divisão de Química e Poluição do Meio Marinho e pela Divisão de Geologia Marinha.

### 2. AMOSTRAGEM E MÉTODOS

Para a caracterização da coluna de água, efetuaram-se duas colheitas sazonais (setembro de 2011 e fevereiro de 2012) em 17 estações (Fig. 1), respetivamente a bordo dos navios hidrográficos NRP “Andrómeda” e NRP “Auriga”, tendo sido utilizadas garrafas NISKIN acopladas a um sistema de CTD IDRONAUT+Rosette, e conservadas pela adição de ácido nítrico até pH <2.

A colheita de sedimentos superficiais foi realizada por uma draga SMITH MCINTYRE, a bordo do navio hidrográfico NRP “Almirante Gago Coutinho”, abrangendo 108 estações de malha regular.

Para a determinação de metais, foram selecionadas 39 estações (Fig. 1), das 108 amostras colhidas para caracterização sedimentar.

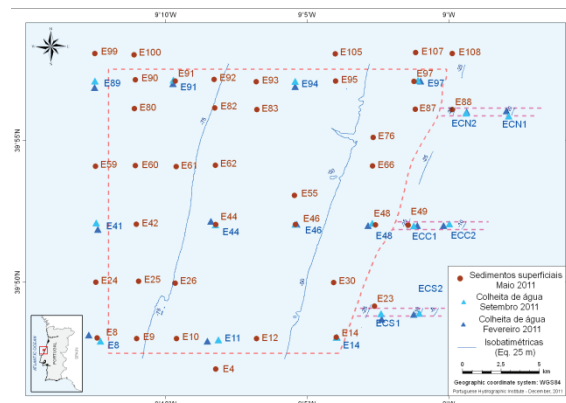


Fig. 1. Localização das 17 estações de amostragem de águas e das 39 estações de amostragem de sedimentos superficiais.

As amostras de sedimento utilizadas na determinação de metais, foram fracionadas por via húmida, com peneiro de malha 2 mm, e mantidas congeladas a -18°C até à realização da análise laboratorial, tendo sido posteriormente liofilizadas e homogeneizadas num moinho de ágata.

A análise granulométrica, assim como o método de peneiração, o método de difração laser, a determinação do carbono inorgânico total (CIT) e do carbono orgânico total (COT) foram efetuados na totalidade das amostras, segundo as normas técnicas internas do IH em vigor no Laboratório de Sedimentologia. Neste estudo, os teores em CIT foram convertidos em conteúdo de carbonato de

cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), multiplicando o valor de CIT por um fator de 8,33.

Para a determinação de metais, as amostras de água sofreram uma extração líquido-líquido com recurso a solventes orgânicos. As amostras de sedimento foram digeridas com ácidos fortes. A quantificação de metais foi determinada por espectroscopia de absorção atômica (EAA), com exceção do As (gerador de hidretos) e do Hg (EAA – vapor frio). O laboratório rege-se por um controlo de qualidade rigoroso, participando desde 1993 em exercícios interlaboratoriais.

Para corrigir a variabilidade na composição do sedimento, recorreu-se à análise estatística de Pearson, onde se avaliou as significâncias das correlações entre os possíveis normalizadores e os outros metais.

A análise de componentes principais (PCA) foi efetuada com o software STATISTICA (v.11,0), sendo aplicada a rotação ortogonal Varimax de modo a obter uma otimização dos valores utilizados em função do número de fatores extraídos

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Coluna de água

Verifica-se que, de um modo geral, os teores de Cd, Cu e Hg, ao longo da coluna de água, são na ordem do limite de quantificação dos métodos. Na tabela I apresentam-se os teores médios, mínimo e máximo para os metais As, Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb e Zn.

Estes teores são da mesma ordem de grandeza, dos encontrados na plataforma adjacente ao canhão da Nazaré (Borges *et al.*, 2009).

Tabela I - Valor médio, máximo e mínimo do As, Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb e Zn.

Me	Verão (set 2011)	Inverno (fev 2012)
As	1,27 (1,18-1,38)	1,14 (1,01-1,28)
Cd	0,04 (<0,03-0,64)	<0,03 (<0,03-0,04)
Cu	<0,3 (<0,3-0,7)	0,2 (<0,3-2,8)
Fe	16,1 (<0,1-42)	15,9 (105-19,6)
Hg	<0,0075 (<0,0075-0,020)	<0,0075 (<0,0075-0,035)
Ni	1,80 (0,65-3,60)	2,05 (0,52-5,31)
Pb	0,63 (0,21-1,74)	0,18 (0,07-0,39)
Zn	2,0 (0,7-10)	1,3 (<0,3-11,9)

As distribuições espaciais na superfície e no fundo para os metais Fe e Zn encontram-se expostos na Fig. 2, sendo na ordem dos  $40 \mu\text{g L}^{-1}$  e  $5 \mu\text{g L}^{-1}$  respetivamente, junto ao fundo e mais próximo de costa. Este comportamento pode estar relacionado com as escorrências do rio Lis (Lisboa, 2006).

Considerando os Critérios de Avaliação Ecotoxicológicos (CAE) dos metais para águas oceânicas e costeiras, definidos pela OSPAR (OSPAR, 2000), verifica-se que os teores de Cd, Cu,

Pb, Hg e Zn não ultrapassam o estabelecido, com exceção de alguns teores de Cd e Zn nas amostras de fundo. O teor médio de Ni ultrapassa ligeiramente o valor estabelecido pelo CAE.

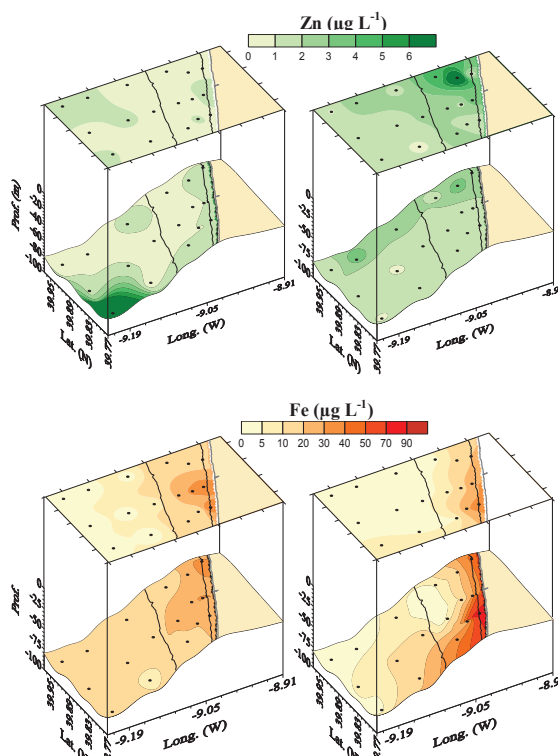


Fig. 2. Distribuição espacial do Zn e Fe, referentes a amostras de superfície e fundo colhidas em setembro 2011 e fevereiro 2012.

Considerando o Decreto-Lei n.º 103/2010, que estabelece as Normas de Qualidade Ambiental (NQA) para as substâncias prioritárias e “outros poluentes” no domínio da política da água que define NQA em termos de valores médios anuais (NQA-MA) para “outras águas superficiais” (as águas de transição, costeiras e territoriais), verifica-se que os teores médios dos metais analisados são inferiores às NQA-MA estabelecidas na referida diretiva.

#### 3.2. Cobertura sedimentar

Na área de estudo, o sedimento de fundo é essencialmente constituído por areias, especialmente nos bordos E e W da área, com mais de 50% de fração areia na sua constituição (Fig.3). No entanto, a fração cascalhenta é também significativa, nomeadamente no centro da área, com percentagens acima dos 50%. Já a fração fina (<63  $\mu\text{m}$ ), apenas está bem representada no extremo NW da área, abaixo dos 85 m de profundidade, com percentagens não superiores a 25%, da amostra total (Fig.3 e 6). Segundo Bizarro *et al.*, (2012), é possível delimitar quatro depósitos sedimentares na ZP: o depósito litoral, o depósito areno cascalhento da plataforma média, o depósito arenoso da plataforma média e manchas de areia dispersas.

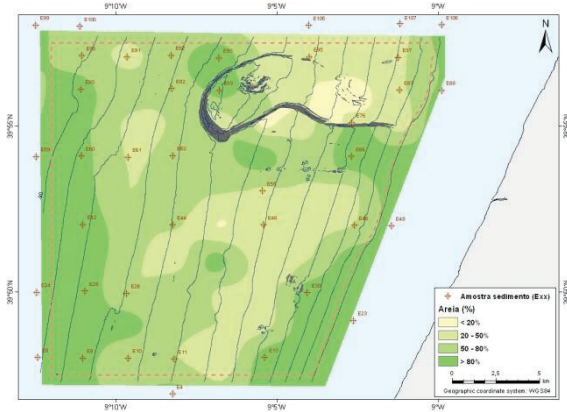


Fig. 3. Mapa de distribuição da areia (%).

O conteúdo em  $\text{CaCO}_3$  nas amostras de sedimento varia entre 1,67% e 49,98%, tendo origem essencialmente biogénica (Bizarro *et al.*, 2012).

Os teores de Cd, Cu e Ni, encontrados nos sedimentos são sempre inferiores ao limite de quantificação dos métodos ( $\text{Cd} < 0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $\text{Cu} < 5 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $\text{Ni} < 0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Os teores encontrados para o Hg variam entre  $< 0,09$  a  $13 \mu\text{g kg}^{-1}$ .

A Fig. 4 apresenta os valores das concentrações medianas (e dispersão em torno da mediana) para os metais Al e Fe ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e Zn, Cr, Pb e As ( $\text{mg kg}^{-1}$ ). Analisando os resultados obtidos da presença de metais (Al, Fe, Cr, Zn, As e Pb) nos sedimentos, podemos dizer que estes, com exceção do As, encontram-se dentro dos valores espectáveis, com teores mais baixos junto à costa. Estes teores são da mesma ordem de grandeza dos encontrados na plataforma adjacente ao canhão da Nazaré (Oliveira *et al.*, 2011).

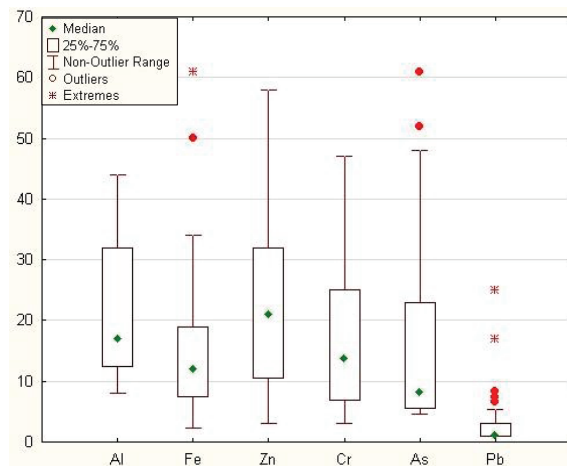


Fig. 4. Mediana, intervalo de aceitação (25-75%) e valores aberrantes (Outliers e Extremes) para o Al e Fe ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e Zn, Cr, As e Pb ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).

Pela análise estatística de Pearson (Tabela II) verifica-se que existem correlações significativas para os metais Hg, Zn e Cr com a fração  $< 63 \mu\text{m}$  (normalização textural) e com o Al e Mn (normalização geoquímica). O As apresenta correlação negativa com o Al. Usando o Fe como

normalizador (normalização geoquímica) verifica-se que este correlaciona-se fortemente ( $p < 0,001$ ) com o  $\text{CaCO}_3$ , As e Pb.

Tabela II - Análise estatística de Pearson.

	$\text{CaCO}_3 < 63 \mu\text{m}$	Al	Fe	Mn	Cr	Zn	As	Pb	Hg	
$\text{CaCO}_3$	1									
$< 63 \mu\text{m}$	0,21	1								
Al	-0,17	0,62	1							
Fe	0,81	0,17	-0,13	1						
Mn	0,10	0,42	0,44	0,33	1					
Cr	0,36	0,60	0,55	0,53	0,83	1				
Zn	0,26	0,66	0,68	0,44	0,87	0,96	1			
As	0,57	-0,26	-0,59	0,74	-0,09	-0,04	-0,16	1		
Pb	0,77	-0,01	-0,18	0,88	0,11	0,30	0,22	0,66	1	
Hg	0,30	0,73	0,40	0,33	0,36	0,58	0,60	-0,05	0,12	1

Através do estudo dos componentes principais (PCA), foi possível distinguir dois grupos de metais com comportamento diferenciado (Fig. 5).

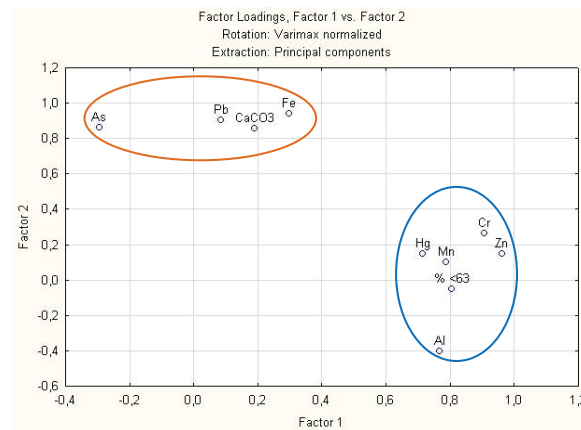


Figura 5: Comparação do fator 1 e 2 obtidos na análise PCA

O grupo I, que associa os metais Cr, Zn, Hg, Mn e Al com a fração fina, que é no geral muito baixa mas com tendência para aumentar para o depósito arenoso da plataforma média.

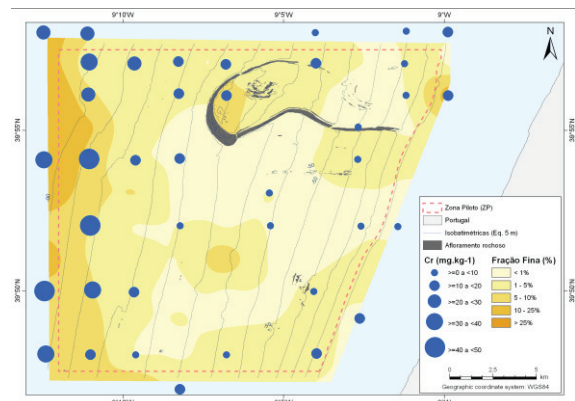


Fig. 6. Mapa de distribuição da fração fina ( $< 63 \mu\text{m}$ ) e do teor em Cr em sedimento.

Na Fig.6 esta tendência está bem evidente na distribuição da fração fina ( $< 63 \mu\text{m}$ ) em relação aos teores em Cr. E o grupo II que parece associado com o aumento do carbonato dos sedimentos, ou seja, com o extremo NW da área de estudo, com valores



na ordem dos 40% de  $\text{CaCO}_3$ . Esta distribuição está bem evidente na distribuição dos teores de Fe (fig. 7).

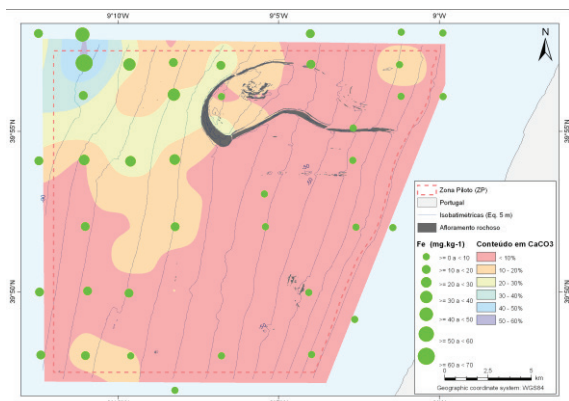


Fig. 7. Mapa de distribuição do conteúdo em  $\text{CaCO}_3$  e do teor em Fe nas amostras de sedimento superficiais.

extremo NW da área em estudo é muito rica em carbonato, apontando para uma zona de acumulação preferencial de restos de organismos carbonatados associados a afloramentos rochosos, e/ou a um enriquecimento local em nutrientes, que poderá também explicar o aumento em metais. Estas hipóteses necessitam de ser confirmadas com amostragem complementar, envolvendo também a coluna de água.

A avaliação da qualidade dos sedimentos foi efetuada com Critérios de Avaliação Ambiental (CAE) (OSPAR, 2008). Os CAE estabelecem para os metais valores abaixo do qual as espécies marinhas estão protegidas de efeitos crónicos (LOWER EAC) e valores máximos que se espera que não causem efeitos tóxicos (UPPER EAC).

De acordo com os EAC definidos, constatou-se que os teores dos metais são inferiores ao UPPER EAC, com exceção do As (UPPER EAC para o As de  $10\text{mg kg}^{-1}$ ).

#### 4. CONCLUSÕES

Na matriz água, os teores de Cd, Cu, Pb, Hg e Zn, não ultrapassam o estabelecido pelos Critérios de Avaliação Ecotoxicológicos (CAE) (OSPAR, 2008) para águas, apresentando de um modo geral concentrações residuais, com frequente incidência ao nível do limite de quantificação do método. Na generalidade não se verificam diferenças significativas entre as amostras de superfície e de fundo. Existem no entanto algumas exceções,

nomeadamente em alguns teores de Fe e Zn nas amostras de fundo. O teor médio de Ni ultrapassa o valor estabelecido pelo CAE.

Em relação aos sedimentos, verificam-se que as concentrações de metais são de um modo geral baixas e inferiores ao UPPER EAC, com exceção do As. A análise estatística colocou em evidência dois grupos de metais com comportamento diferenciado, refletindo, tanto a variabilidade composicional e dimensional do sedimento como certamente, as características oceanográficas da área em estudo.

#### REFERÊNCIAS

- Bizarro, R., Oliveira, A. Santos, A. I., Rosa, L., Pinto, J. P., Pólvora, C., Ferreira, F., Lapa, N., Cruz, I., Pombo, J., Reis, L., Silva, S., Caetano, A. & Duarte, J. (2012). Relatório técnico final REL TF GM 04\_12 – Caracterização geofísica da Zona Piloto. Instituto Hidrográfico, Lisboa 177p.
- Borges, C. Palma, C., Valença, M., Oliveira, A. & Vitorino, J. (2009). *Nutrient and heavy metal distribution C of Nazaré Canyon and adjacent shelf* [Documento icónico] [Lisboa: Instituto Hidrográfico]. (Lisboa: Lith. de Portugal). Poster.
- Decreto-Lei n° 103/2010. Diário da Republica I Série. 187 (00-09-24) 4289-4296.
- Lisboa, R.M. (2006). *Avaliação da qualidade da água e fontes de poluição do rio Lis como contributo para a gestão integrada das águas superficiais na respetiva bacia hidrográfica*. Porto: Faculdade de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia Química, Tese de Mestrado, 270 p.
- OSPAR Commission (2000), *Quality Status Report* London: OSPAR Commission, 2000 a. 108 + vii pp.
- OSPAR Commission (2008), *CEMP Assessment Manual, Co-ordinated Environmental Monitoring Programme-Assessment manual for contaminants in sediments and biota*. OSPAR Commission, 39 pp.
- Oliveira A., Palma C., & Valença M. (2011). Heavy metal distribution in surface sediments from the continental shelf adjacent to Nazaré canyon, *Deep-Sea Research II*, 58: 2420-2432.

## Contraste geoquímico e mineralógico entre os sedimentos da crista da ilha Terceira e do monte submarino Great Meteor

C. Palma<sup>(1)</sup>, M. Valença<sup>(1)</sup>, A. Gama<sup>(1)</sup>, A. Oliveira<sup>(1)</sup>, J. Cascalho<sup>(2)</sup>, E. Pereira<sup>(3)</sup>, A. Lillebø<sup>(4)</sup>, A. C. Duarte<sup>(3)</sup>, M. Pinto de Abreu<sup>(5)</sup>

- (1) Instituto Hidrográfico. carla.palma@hidrografico.pt  
 (2) Centro de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.  
 Museu Nacional de História Natural e da Ciência, Universidade de Lisboa.  
 (3) Centre for Environmental and Marine Studies, Departamento de Química, Universidade de Aveiro.  
 (4) Centre for Environmental and Marine Studies, Departamento de Biologia, Universidade de Aveiro.  
 (5) EMEPC – Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental.

**Resumo:** Efetua-se a caracterização geoquímica e mineralógica dos sedimentos recolhidos com um core de gravidade em dois locais: crista da ilha Terceira e monte submarino Great Meteor (cruzeiro EMEPC G3/2007). Os dois testemunhos verticais de sedimentos são descritos tendo em atenção a granulometria das partículas, o conteúdo em carbono orgânico e inorgânico total, a composição mineralógica da fração fina, a composição em minerais pesados da fração arenosa e o conteúdo em metais. A análise geoquímica revelou que na crista da ilha Terceira os sedimentos são mais ricos em material detritico, com concentrações elevadas de Al, Cr, Fe, Mn e Zn, característicos de rochas basálticas. Os sedimentos do Great Meteor, são formados por material biogénico carbonatado: oozes foraminíferas, com elevadas concentrações de Ca e Sr. Os resultados obtidos evidenciam as características particulares dos sedimentos dos dois cores, que resulta do balanço entre as contribuições terrígena (de origem vulcânica) e biogénica.

**Palavras-chave:** geoquímica, metais, minerais, Great Meteor, Ilha Terceira.

### 1. INTRODUÇÃO

No período de 15 de maio a 13 de junho de 2007 realizou-se uma campanha oceanográfica designada por EMEPC/AÇORES/G3/2007 a bordo do navio SV *Kommandor Jack* ao serviço da Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental. Esta campanha teve como finalidade complementar com operações geofísicas, geológicas e oceanográficas os trabalhos de caracterização batimétrica anteriormente efetuados ao longo dos montes submarinos Atlantis, Plato, Hyeres e Great Meteor, a fim de fundamentar a proposta de extensão da plataforma continental portuguesa para além das 200 milhas náuticas (Abreu *et al.*, 2012). Neste trabalho apresentam-se os resultados relativos ao estudo pluridisciplinar (químico e geológico) do conteúdo sedimentar de dois testemunhos verticais de sedimento (A e E), recolhidos em dois locais distintos do fundo do Oceano Atlântico (Fig. 1).

### 2. MÉTODOS

Cada testemunho vertical (designado a partir daqui por *core*) foi recolhido com um *corer* de gravidade, que foi posteriormente amostrado tendo em conta vários aspetos visualmente observáveis no sedimento (estratificação, cor e granulometria). No *core* A foram subamostrados nove níveis e no *core* E foram subamostrados catorze níveis (Palma, 2014). As amostras foram inicialmente crivadas manualmente via húmida com água ultrapura usando crivos manuais de malha de *nylon* de 2 mm e,

posteriormente, homogeneizadas, liofilizadas e moídas em moinho de ágata. A datação foi efetuada recorrendo a um laboratório internacional acreditado (*Beta Analytic Inc.*).

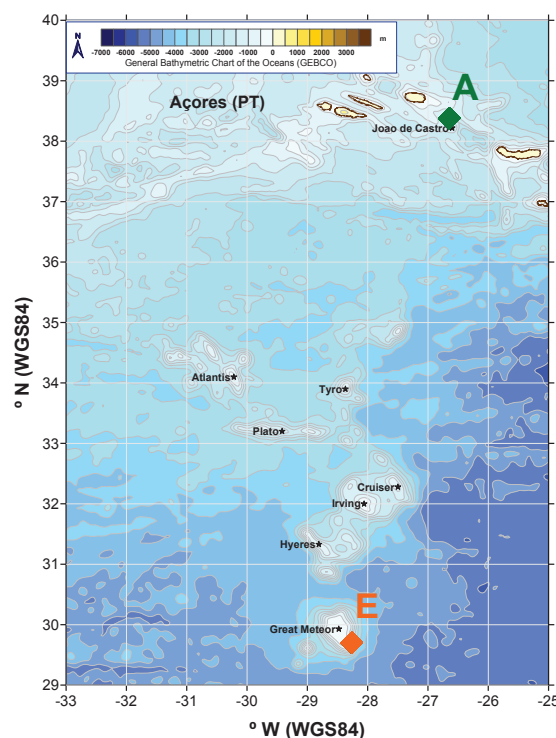


Fig. 1. Localização dos cores verticais de sedimento (A e E).

A análise granulométrica foi efetuada utilizando o método clássico de crivagem para a fração mais

grosseira ( $\geq 500 \mu\text{m}$ ), enquanto que o sedimento mais fino ( $< 500 \mu\text{m}$ ) foi analisado pelo método de difração laser (MALVERN MASTERSIZER 2000).

O carbono orgânico total (COT) foi quantificado pela diferença entre o carbono total (CT) e o carbono inorgânico total (CIT). Ambos foram quantificados por espectrometria de absorção de infravermelhos não dispersiva, num espectrómetro de infravermelhos STRÖHLEIN Cmat 5500. O  $\text{CaCO}_3$  foi obtido aplicando o fator multiplicativo de 8,33. Foi efetuada uma observação genérica da fração areia ( $\geq 63 \mu\text{m}$ ) utilizando uma lupa binocular (Leika MZ 16F) com ampliação máxima de 115x. Foi também efetuada a identificação e a contagem dos minerais pesados presentes na areia fina e muito fina (entre 250 e  $63 \mu\text{m}$ ) do *core* A utilizando um microscópio petrográfico (Leika DMLP). No que se refere à identificação dos minerais presentes na fração inferior a  $63 \mu\text{m}$  foi utilizado um difractor Panalytical X'PERT, com uma ampola de difração de Raios X com anticátodo de Cu (radiação  $\text{K}\alpha\text{Cu}$ , 40 mA, 45 kV). A quantificação dos metais Al, Cd, Cu, Cr, Fe, Li, Mn, Ni, Pb e Zn foi feita por espectroscopia de absorção atômica (EAA), enquanto a quantificação do As foi realizada com gerador de hidretos e a do Hg por espectrometria de absorção atômica com decomposição térmica da amostra (Loring and Rantala, 1992). Os elementos Ba, Be, Co, Sr, V, K, Mg, Na, P e Ca foram determinados por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), enquanto o Si foi determinado por espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente (ICP-OES).

Foi efetuada a análise de componentes principais com o software STATISTICA (versão 11.0), sendo aplicada a rotação ortogonal Varimax de modo a obter uma otimização dos valores utilizados em função do número de componentes extraídos.

### 3. RESULTADOS

A datação efetuada mostrou que o *core* A é representativo de um fundo marinho com idades convencionais que variam entre os  $2280$  e  $3290 \pm 30$  anos AP. Granulometricamente verifica-se uma variabilidade vertical do tamanho médio das partículas, entre areia fina e silte médio. O valor médio da percentagem de finos ( $< 63 \mu\text{m}$ ) é de 55% e o teor médio de  $\text{CaCO}_3$  de 7%. A datação dos sedimentos do *core* E mostra idades sempre superiores ao limite de quantificação da técnica ( $> 43500$  anos AP). A dimensão das partículas varia entre a dimensão da areia fina e a dimensão do silte muito fino. A percentagem média das partículas com dimensão equivalente à fração fina é superior a 60% e o valor médio de  $\text{CaCO}_3$  é igual a 91%. (Fig. 2).

No *core* A os dados da composição mineralógica da fração fina mostram o predomínio da calcite (40-

71%), mas também se deteta um sinal terrígeno importante composto essencialmente por plagioclase (15-40%) e magnetite (9-23%). No *core* A observa-se elevada frequência de partículas de vidro vulcânico vesicular não alteradas (Fig. 3-a).

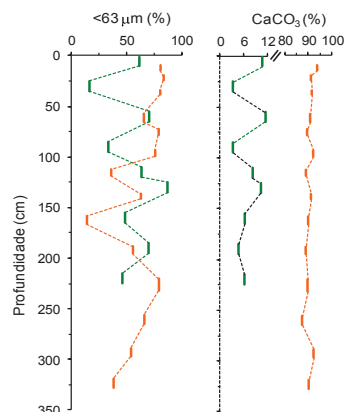


Fig. 2. Perfil vertical da variação da percentagem de sedimentos finos ( $< 63 \mu\text{m}$ ) e da percentagem de  $\text{CaCO}_3$  nos cores A (verde) e E (laranja).

A observação à lupa de vários níveis do *core* E, revelou a presença maioritária de partículas carbonatadas com destaque para a presença abundante de material biogénico formado por oozes de foraminíferos (Fig. 3-b).

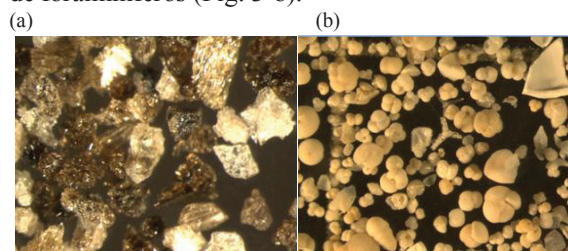


Fig. 3. (a) Aspecto típico de uma amostra pertencente ao *core* A (nível 0-10 cm; fração areia fina 250-125  $\mu\text{m}$ ). (b) Aspecto típico de uma amostra do *core* E (nível 9-14 cm; fração areia fina 250-125  $\mu\text{m}$ ). Ampliação de 80x.

A composição mineralógica da fração pesada da areia do *core* A revela a presença de litoclastos (45%), piroxenas (32%), minerais opacos (15%), olivinas (3%), anfíbolos (2%) e biotite (0,91%). Na Fig. 4 observa-se duas das espécies mais comuns do *core* A (litoclastos e piroxenas).

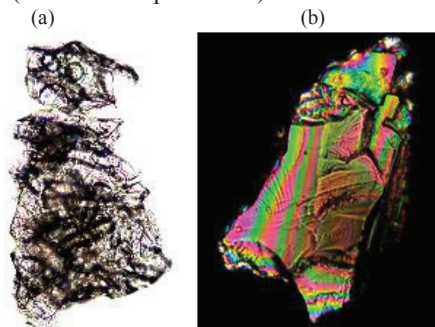


Fig. 4. (a) Litoclasto (imagem em polarização simples); (b) Piroxena (imagem em dupla polarização). Core A (nível 110-120 cm).

A Fig. 5 mostra a variação vertical das concentrações dos elementos Al, Fe, Ca, Si, Sr, As, Cu, Cr, V e Zn.

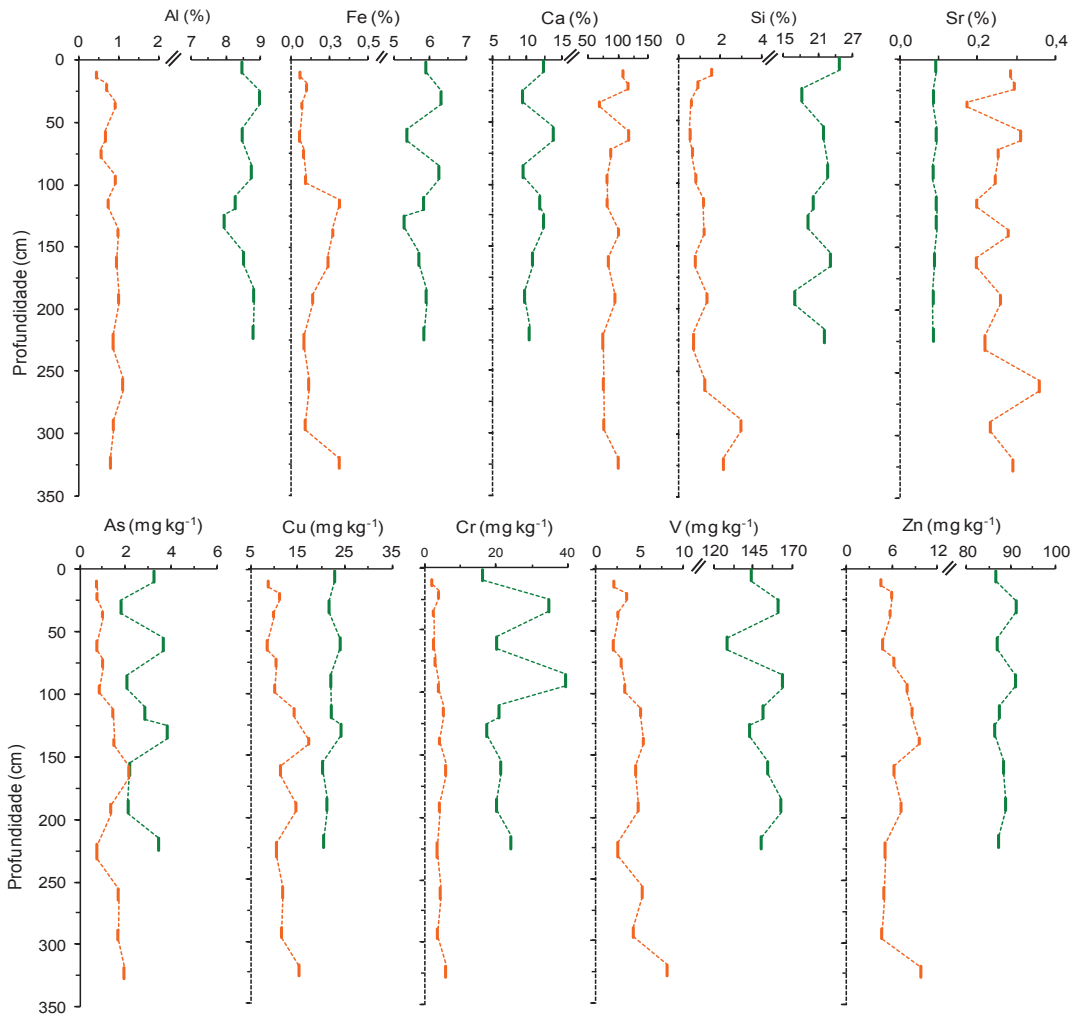


Fig. 5. Perfil vertical dos elementos Al, Fe, Ca, Si e Sr (%) e As, Cu, Cr, V, e Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nos cores A e E.

A Fig. 6 mostra os valores das concentrações medianas (e da dispersão em torno da mediana) para os metais Mn, Ba, Mg, Na, K e P para os cores A e E.

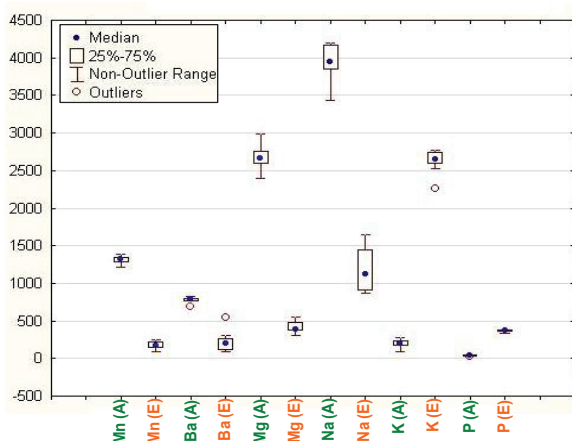


Fig. 6 Concentração mediana, valores entre os quartis 25-75%, máximos e mínimos e valores anormais para o Mn e Ba ( $\text{mg Kg}^{-1}$ ) e Mg, Na, K e P ( $\text{mg g}^{-1}$ ) nos cores A e E.

#### 4. DISCUSSÃO

Verifica-se a existência de variabilidade dimensional das partículas sedimentares presentes nos dois testemunhos verticais. Nos primeiros 100 cm a percentagem de sedimentos finos ( $< 63 \mu\text{m}$ ) é mais elevada no core E relativamente ao A, verificando-se, todavia, uma tendência inversa a partir dos 100 cm (Fig. 2). A quantidade de fração fina nos sedimentos permite distinguir os dois cores recolhidos, em que o core A localizado na crista da ilha da Terceira, apresenta em média uma percentagem de finos ( $< 63 \mu\text{m}$ ) três vezes inferior à percentagem existente nos sedimentos do core E.

Os minerais identificados no core A são compatíveis com a mineralogia das lavas basálticas da ilha Terceira referida por Madureira *et al.*, 2011. A elevada frequência de partículas de vidro vulcânico vesicular não alteradas, permite sustentar a hipótese da existência de uma origem próxima para as partículas terrígenas. O perfil vertical de variação da



percentagem de  $\text{CaCO}_3$ , revela uma diferença significativa entre os dois *cores*, verificando-se que no *core* E a fração arenosa do sedimento é essencialmente composta por material biogénico (oozes de foraminíferos).

No *core* A os elementos Al, Fe, Si, As, Cu, Cr, V e Zn apresentam-se sempre em concentrações mais elevadas relativamente às concentrações detetadas no *core* E, sendo idênticas às detetadas nos basaltos toleíticos e alcalinos da ilha Terceira (Madureira *et al.*, 2011). Por sua vez os elementos Mn, Ba, Mg, Na, K e P também apresentam concentrações mais elevadas no testemunho *core* A relativamente às que são detetadas no *core* E. Todavia, no *core* E os valores da concentração em metais aproximam-se dos valores dos sedimentos carbonatados do oceano profundo (Chester and Jickells, 2012). O Ca e o Sr apresentam valores mais baixos no *core* A quando comparados com os valores do *core* E, o que está de acordo com a diferente influência do ambiente de sedimentação de oceano profundo existentes nos dois locais de colheita dos sedimentos (menor no local do *core* A e maior no local correspondente ao *core* E).

A análise de componentes principais usando todos os valores de metais com exceção do Cd (valores inferiores ao limite de quantificação) permitiu extrair dois eixos principais que explicam 94% da variância total dos dados (Fig. 7). O primeiro eixo explica 87% da variabilidade dos dados e traduz uma oposição marcada entre os elementos Al, As, Ba, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Si, V e Zn relativamente aos elementos Ca e Sr. O segundo eixo tem associada uma variância muito mais reduzida (7%) mostrando a projecção isolada do Ni e do Pb relativamente aos restantes metais.

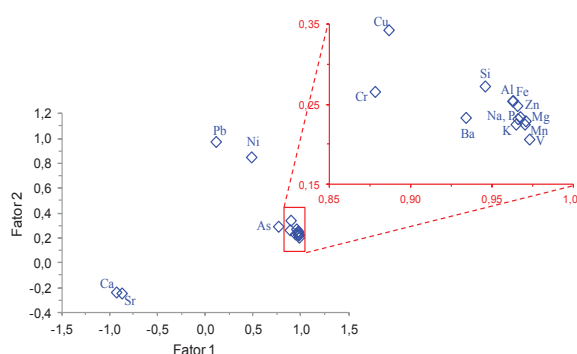


Fig. 7. Projeção dos pesos estatísticos de cada variável sobre o primeiro fator e o segundo fator significativo da análise fatorial.

Na Fig. 8 apresenta-se a representação gráfica dos *fatores scores* que relaciona todos os elementos de uma amostra com a respetiva amostra para os *cores* A e E. Verifica-se que as características químicas das amostras correspondentes aos dois *cores* recolhidos são distintas entre si. Observa-se também que o *core* A apresenta 3 amostras que se projetam de forma isolada relativamente às restantes. Estas

amostras (correspondentes aos níveis mais superficiais) apresentam valores de Pb e Ni mais elevados quando comparados com os valores detetados nos restantes níveis.

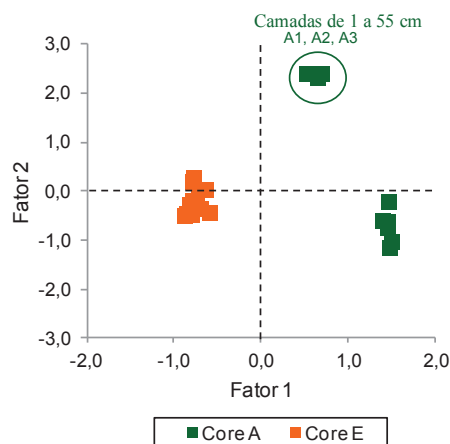


Fig. 8 Representação gráfica dos fatores scores para os cores A e E (fator 1 vs fator 2).

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos evidenciam as características particulares dos sedimentos no *core* A que resultam da mistura de material detrítico com material carbonatado. Por sua vez, os sedimentos no *core* E evidenciam percentagens muito elevadas de carbonato de cálcio, e são compatíveis com um ambiente de sedimentação de oceano profundo. De referir também que os níveis superficiais do *core* A apresentam valores mais elevados de Ni e Pb, elementos considerados de origem detrítica e antropogénica.

## REFERÊNCIAS

- Abreu, M. P., Coelho, P. N., Lourenço, N., Campos, A. S., Conceição, P., Costa, R., Dias, F. C., Calado, A., Martins, M. A., Neves, M. (2012). *Extensão da Plataforma Continental. Um Projeto de Portugal. Seis anos de missão (2004-2010)*. EPUL 220 pp.
- Chester, R. and Jickells, T. (2012). *Marine Geochemistry*, 3a Ed. John Willey & Sons 436 pp.
- Loring, D. H. and Rantala, R. T. T. (1992). Manual for geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-Science Reviews* 32: 235-283.
- Madureira, P., Mata, J., Mattielli, N., Queiroz, G., Silva, P. (2011). Mantle source heterogeneity, magma generation and magmatic evolution at Terceira Island (Azores archipelago): Constraints from elemental and isotopic (Sr, Nd, Hf, and Pb) data. *Lithos* 126: 402-418.
- Palma, C. (2014). *Metais em águas e sedimentos da Plataforma dos Açores*. Tese de doutoramento. Universidade de Aveiro, 262 pp.

# Transport of nutrients, chlorophyll *a* and suspended solids at the mouth of the Mira River, Vila Nova de Milfontes, during a spring tidal cycle, October 2013

A. Rosa<sup>(1)</sup>, C. Pereira<sup>(2)</sup>, N. Simões<sup>(3)</sup>, A. Ovelheiro<sup>(3)</sup>, A. Silva<sup>(1)</sup>, L. Curralo<sup>(1)</sup>, A. Cravo<sup>(3)</sup> e J. Jacob<sup>(3)</sup>

(1) Universidade do Algarve. xana.imrosa@gmail.com.

(2) CCMAR, Universidade do Algarve.

(3) Universidade do Algarve, CIMA.

**Abstract:** The Mira river estuary, on the southwest coast of Portugal, is considered a small mesotidal system, under influence of semidiurnal tides. It is formed by a single canal with about 30 km long, an average depth of 4 meters and ~150 meters wide at its mouth. The main objective of the present study was to characterize the variability of physico-chemical parameters (current direction and intensity, temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, nutrients, chlorophyll *a* and suspended solids) and to quantify mass exchanges (water, nutrients, chlorophyll *a* and suspended solids) in a cross-section at the mouth of the river Mira. Measurements were conducted along a complete spring tidal cycle, in autumn conditions. The results show that, globally, nutrients, chlorophyll *a* and suspended solids varied in antiphase with the tidal cycle. For the studied conditions, there was an overall mass export from the estuary to the adjacent coastal zone.

**Key words:** Mira River estuary, Physico-chemical parameters, Nutrients, Chlorophyll *a*, Suspended solids, Mass exchanges.

## 1. INTRODUCTION

Estuaries are coastal systems in the transition zone between fresh and ocean waters. In consequence, these are characterized by strong temporal and spatial gradients, well reflected in the physical-chemical parameters. The calculation of mass balances and exchanges throughout these environments are quite interesting and scientifically important, since these usually represent productive systems. This study was conducted at the Mira river estuary where these kind of estimates are hitherto unknown.

Mira river springs in the Serra do Caldeirão, at 470 m above the sea level, with a length of 145 km until reaching the ocean (Blanton *et al.*, 2000). It has been considered the largest river in the south-western Portuguese coast. The Mira river estuary, on the southwestern coast of Portugal, is considered a small mesotidal system, under influence of semidiurnal tides. It is formed by a single canal with about 30 km long, and at its mouth has an average depth of 4 m and ~150 m wide (Ferreira *et al.*, 2003). The tidal range varies from 1 to 3 m, during neap tides and spring tides, respectively (Paula *et al.*, 2006). In the period 1999-2012, the annually average flow rate of the river was  $2.64 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , (<http://snirh.pt>). Santa Clara dam is located 60 km upstream and controls the low and seasonal freshwater input, endorsing a low fluvial influence (Amaral *et al.*, 2009), and consequently there is marine dominance at the lower estuary (Paula *et al.*, 2006). At this area, it is considered vertically well-mixed, despite sometimes a stratification can occur at deeper levels during

periods of higher freshwater input (Ferreira *et al.*, 2003).

The main objective of the present study was: a) to characterize the variability of physico-chemical parameters at the lower Mira river estuary and b) taking an innovative approach to quantify the mass exchanges (water, nutrients, chlorophyll *a* and suspended solids) through its mouth.

## 2. MATERIAL AND METHODS

### 2.1 Field Site and Campaign

The sampling survey was carried out on the 7<sup>th</sup> October 2013, at the mouth of the Mira river estuary (Fig. 1), to characterize physical and chemical parameters, such as current direction and intensity, temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, nutrients, chlorophyll *a* and suspended solids. These were measured in a selected and georeferenced cross-section over a complete tidal cycle (~ 12.5 h). For the hourly *in situ* measurements of temperature, salinity, pH and dissolved oxygen a multiparametric probe YSI (6820 Model) was used. Data was acquired along the water column of the channel to determine if there was stratification. As the differences of the measured *in situ* variables along the water column were very low, the water column was considered well mixed and water samples (2 L) were also collected hourly, in the channel 1 m below the sea surface using a Niskin bottle. In order to calculate the flow rate, measurements of the height of the water column along with the average velocity of the channel were conducted. The flow rate can be

defined as the total volume of water that crosses the straight section per unit time.

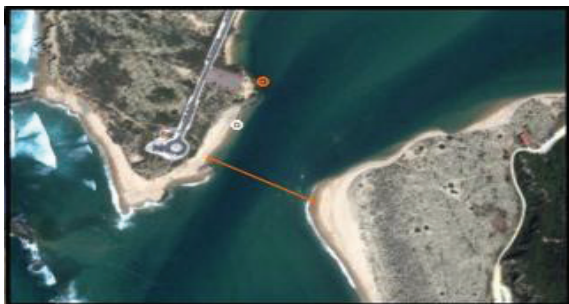


Fig. 1. Sampling sites location (adapted from Google Earth).

## 2.2 Methods

For the analysis of nutrients (nitrate, nitrite, ammonium, phosphate and silicate) and chlorophyll *a*, water samples were filtered one hour after collection, on a vacuum system. For the nutrients, water samples (1 L) were filtered using 0.45  $\mu\text{m}$  porosity filters previously decontaminated, weighed and identified. These filters (in duplicate), used in the water samples filtration for nutrients, correspond to those for suspended solids determination. After filtration, and rinsed with distilled water, filters were stored in Petri dishes until further analysis. For chlorophyll *a*, water samples (1 L) were filtered using of GF / F (0.7  $\mu\text{m}$  porosity) filters. Duplicates filters for each sample, after filtration, were wrapped in aluminum foil, identified and frozen at  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  until further analysis. To determine nutrients and chlorophyll *a*, spectrophotometric methods were used, as described by Grasshoff *et al.*, (1983) and Lorenzen (1967), respectively. For the suspended solids, a gravimetric method was used, as described in APHA (1992).

To quantify the flow rate and mass exchanges of these parameters, a Lagrangian method was used hourly to measure the current velocity at the river mouth cross-section. The water level height was measured hourly with a graduated scale. Then, a power-law equation was used to calculate the maximum and average current speed at the channel (Gandhi *et al*, 2008). The flow rate was computed as the product of the mean velocity at the cross section and the cross-sectional area. The transport of nutrients and chlorophyll *a* was obtained hourly over the entire tidal cycle multiplying the flow rate by the cross-sectional average concentration. Finally, the ebb, flood and net transport of water (tidal prisms), nutrients and chlorophyll *a* was obtained by integrating in the time domain the hourly transport values over the ebb, flood and the entire tidal cycle, respectively.

## 2.3 Statistical Treatment

To establish the relationships between variables, a correlation matrix was applied to the studied parameters, using the Pearson coefficient. The set of observations was  $n=13$  and this matrix was drawn

with a confidence interval of 95%, where the critical value of significant  $r$  is 0.553.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

The parameters measured *in situ* showed a clear variation over the semidiurnal tidal cycle. Water temperature (not shown) ranged between  $18.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $21.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , attaining the maximum by midday, as a function of direct solar radiation, and varied to some extent in antiphase with tidal height. These values in October can be considered high and typical of summer, when there is no coastal upwelling.

Salinity (not shown) varied roughly in the same sense of tidal height. Values varied within a small range, 35.4-36.7, with maximum at 13h20, following the period of highest temperatures, in mid-flood. These values are characteristic of the ocean, showing very low contribution of freshwater during this spring tidal cycle. The mean monthly (1999-2012) river flow for October was very low ( $0.55\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ ; <http://snirh.pt>).

Relatively to pH (not shown), the range of variation was small but positively associated with tidal height and percentage of dissolved oxygen ( $r=+0.64$  and  $+0.75$ , respectively;  $p<0.05$ ). The minimum of 8.01, in the early morning, can be explained by the dominance of respiration process over photosynthesis, while the maximum of 8.12, close to high water, almost by the end of the sampling period, was caused by a reversal of the importance of both processes. It must be also pointed out that oxygenated seawater entering the estuary during the flood has a higher  $\text{pH} > 8.1$ , slightly alkaline, as typical of coastal waters.

The concentration of dissolved oxygen depends on several parameters such as temperature, salinity and also on the primary production. Because of that, and to avoid the effect of temperature and salinity, data relative to oxygen is better expressed in percentage of saturation. Like for salinity, it was observed that % dissolved oxygen of saturation varied in phase with tidal height ( $r=+0.78$ ;  $p<0.05$ ) and values close to saturation show a good oxygenation of the water. The minimum value of 96 % ( $\sim 7\text{ mg/L}$ ) was reached close to low water, while the maximum value of 107% (7.7 mg/l) was close to high water. This pattern can be explained by oxygenation of estuarine waters during flood and also because photosynthesis is still important during the afternoon. The same trend was observed at other coastal systems, such as the main inlets of the Ria Formosa lagoon (Alcântara *et al.*, 2012; Cravo *et al.*, 2012).

Nitrate, phosphate, silicate, SS and Chl *a* (Fig. 2) varied in antiphase with tidal height, like the water temperature. These parameters presented the lowest values close to high water, in opposition to the highest values, observed near the low water. This tidal pattern was particularly evident for silicate

(Fig. 2c;  $r \leq -0.60$ ;  $p < 0.05$ ). The dilution effect occurred during the flood period, by mixing water from the adjacent coast, poorer in those compounds, with the estuarine water. Meanwhile, in low water there is a kind of concentration of these compounds, by the reduced mixture of estuarine water with seawater. Moreover, the nutrients showed a similar behaviour between them expressed by significant correlations, except for the phosphate (Fig. 2b;  $p > 0.05$ ). Nitrate (Fig. 2a) and phosphate (Fig. 2b) were negatively correlated with salinity ( $p < 0.05$ ), with nitrate depicting the most conservative behaviour ( $r = -0.90$ ;  $p < 0.05$ ). In general, nutrients were also negatively correlated with dissolved oxygen ( $r \leq -0.68$ ;  $p < 0.05$ ), showing that the flooding oxygenated water is poorer in nutrients than the ebbing estuarine water.

From the nitrogen nutrients, nitrate (Fig. 2a), was the most abundant nutrient (2.5-4.1  $\mu\text{M}$ ) in these oxygenated waters, resulting as the final product of nitrification. Phosphate concentrations (Fig. 2b) also attained very low values over a semidiurnal tide cycle (0.01-0.1  $\mu\text{M}$ ). Since the waters samples were collected in a shallow estuary, where there are suspended solids (Fig. 2d), part of the phosphate can be adsorbed either to the suspended particles and/or to the sediments of this shallow system (Ruttenberg, 2003). As a result, this leads to a N:P ratio  $\gg 16$ , showing P as the limiting element, which is commonly found in estuaries (Nixon, 1980). Silicate (Fig. 2c) had generally lower concentrations (2.10 - 5.74  $\mu\text{M}$ ) than nitrate. Suspended solids concentrations (Fig. 2 d) varied from 2.7 to 11.0 mg/L. The highest values at low tide could be also partially explained by resuspension of the sediments from the bottom, when the water column depth is minimum and the shear stress is higher. The suspended solids were positively correlated ( $p < 0.05$ ) with ammonium ( $r = 0.744$ ), nitrite ( $r = 0.595$ ) and silicate ( $r = 0.744$ ), being highest during the period close to low water. This suggests that these compounds are mainly provided by the estuary. In relation to chlorophyll *a* (Fig. 2e), the maximum concentration was observed in the period of higher light intensity (11h15 and 13h20), reaching 1.1 mg/L. This maximum value also matched the maximum of phaeopigments (0.5  $\mu\text{g/L}$ ; not shown), which could put forward that light intensity was strong enough to promote chlorophyll *a* degradation. During the rest of the sampling period the concentration of both parameters varied inversely with tidal height, indicating that the coastal seawater had lower phytoplankton than the estuary.

In order to quantify and characterize the dynamics of the mass transport in this ecosystem the flow rate was calculated (Table I).

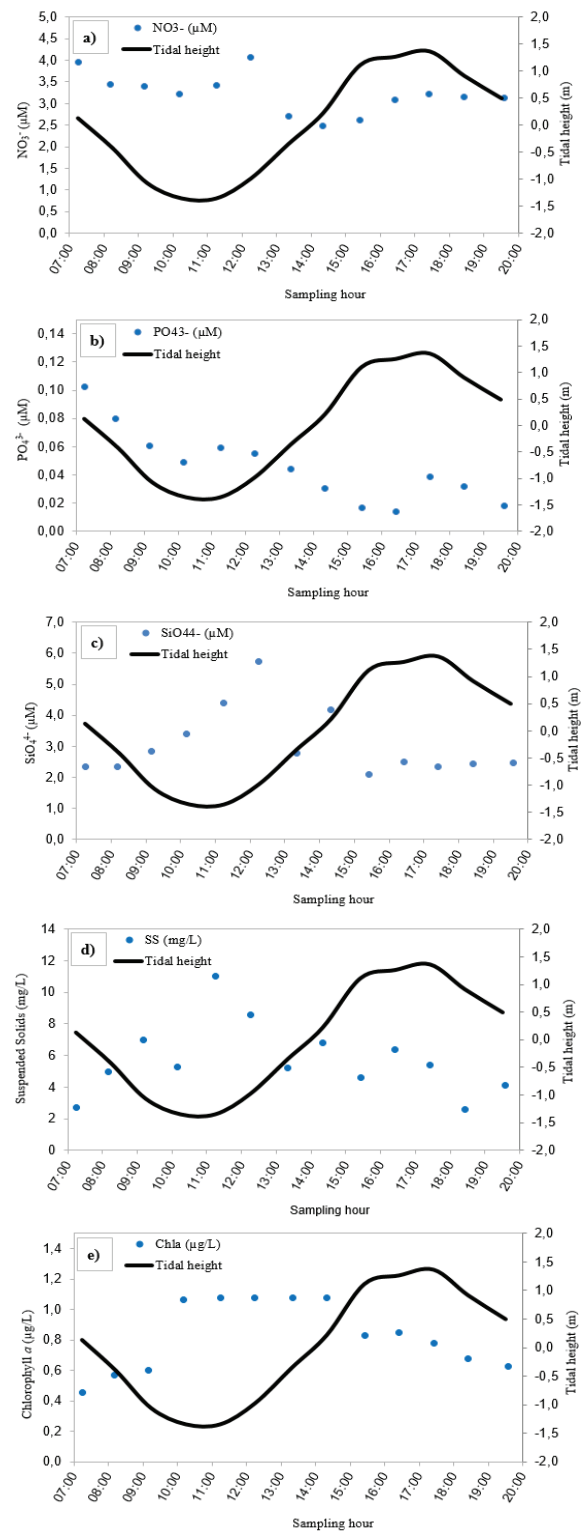


Fig. 2. Variation of water surface elevation due to tide and concentrations of: a)  $\text{NO}_3^-$ ; b)  $\text{PO}_4^{3-}$ ; c)  $\text{SiO}_4^{4-}$ ; d) SS and e) Chl *a*.

In this semidiurnal spring tidal cycle, in autumn conditions, the residual prism was  $-5.03 \times 10^6 \text{ m}^3$ . This means that under the surveyed conditions the Mira river estuary behaved as an ebb dominated estuary. The estimate of the mass transfer for the selected parameters through the mouth of the Mira river estuary is also presented in Table I.



Table I. Flood, ebb and residual tidal prisms, and net transport of nutrients, SS and Chl *a* during the complete spring tidal cycle in 7<sup>th</sup> October 2013. Positive values refer to import into the estuary and negative values to export to the sea.

Mass Exchanges			
	Flood Tide	Ebb Tide	Residual
<b>Prism (m<sup>3</sup>)</b>	6.86E+06	-1.19E+07	-5.03E+06
<b>Chl <i>a</i> (kg)</b>	6.83E+00	-7.66E+00	-8.29E-01
<b>Nitrate (kg)</b>	3.33E+02	-6.82E+02	-3.49E+02
<b>Phosphate (kg)</b>	6.55E+00	-2.12E+01	-1.47E+01
<b>Silicate (kg)</b>	5.98E+02	-8.58E+02	-2.60E+02
<b>SS (kg)</b>	3.96E+04	-5.48E+04	-1.52E+04

The analysis of that data shows that there was a general mass export, supplying important amounts to the adjacent ocean: 0.8 kg of chlorophyll *a*, ~15 kg of phosphate, 260 kg of silicate, ~350 kg of nitrate and 15 tons of suspended solids. The approach undertaken in this study revealed to be very important to quantify those amounts, even in small coastal systems. It contributes to better understand the dynamics of marine ecosystems, where the linkage between physical and chemical processes is very strong. However, as these systems are very sensitive and respond quickly to atmospheric and oceanic forcings concurrently with human pressures, the results can easily be changed in short and long time scales.

#### 4. CONCLUSIONS

Data show that, during the sampling period, the Mira river lower estuary was well mixed and oxygenated, and no stratification was depicted. The values of the variables studied were typical of late summer, when the river's freshwater contribution was insignificant at the sampling site. Globally, nitrate, phosphate, silicate, chlorophyll *a* and suspended solids varied in antiphase with the tidal cycle. For the studied conditions, there was an overall important supply of mass from the estuary to the adjacent coastal zone. However, the results can change in response to different meteorological and oceanographic processes.

#### Acknowledgments

The authors acknowledge Colégio Nossa Senhora da Graça, specifically Professor João Cabecinha, for providing the use of the laboratory, for chemical processing of the water samples.

#### REFERENCES

- Alcântara, P., Cravo, A., Jacob, J. (2012). Variability of nutrients and chlorophyll *a* in Ancão Inlet during a spring tidal cycle in April 2009. *Ciencias marinhas*, 38(1B): 161-176.
- Amaral, V., Cabral, N.H., Jenkins, S. (2009). Comparing quality of estuarine and nearshore intertidal habitats for *Carcinus maenas*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 83, 219-226.
- American Public Health Association (A.P.H.A.), American Water Works Association and Water Environment Federation (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. A. E Greenberg; L. S. Clesceri and A. D. Eaton (eds.), Maryland, U.S.A.
- Blanton, O.J., Andrade, A.F., Ferreira, A.M. (2000). Effect of a Broad Shallow Sill on Tidal Circulation and Salt Transport in the Entrance to a Coastal Plain Estuary (Mira - Vila Nova de Milfontes, Portugal). *Estuaries*, 23, 293-304.
- Cravo, A., Jacob, J., Cardeira, S., Rosa, M., Madureira, M., Rita, F., Luís, J. (2012). Mass Exchanges Between the Ria Formosa Lagoon and the Adjacent Ocean Through the Faro-Olhão Inlet During a Neap Tide in Autumn Conditions. 2<sup>as</sup> Jornadas da Engenharia Hidrográfica, Lisboa, 20-22 de Junho, pp: 257-260.
- Ferreira, J.G, Simas, S.T., Nobre, A., Silva, M.C., Schifferegger K., Lencart-Silva, J., (2003). Identification of sensitive areas and vulnerable zones in transitional and coastal Portuguese systems. <http://www.eutro.org/documents/NEEA%20Portugal.pdf>.
- Gandhi, B.K., Verma, H.K. and Patnaik, S.S. (2008). Discharge measurement in small hydropower stations using acoustic Doppler current profiler. 7th IGHEM conference, Milan, Italy, 3-6 September, 12 p.
- Grasshoff, K., Erkhart, M. and Kremling, K., (1983). Methods of Seawater Analysis. Verlag Chemie, New York, 419 pp.
- Lorenzen Carl J., (1967). Vertical distribution of chlorophyll and phaeo-pigments: Baja California. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 14 (6): 735-745.
- Paula, J., Silva, C.I., Francisco, M.S., Flores, V.A.A. (2006). The use of artificial benthic collectors for assessment of spatial patterns of settlement of megalopae of *Carcinus maenas* (L.) (Brachyura: Portunidae) in the lower Mira Estuary, Portugal. *Hydrobiologia*, 557: 69-77.
- Nixon, S.W., (1980). Between coastal marshes and coastal waters - A review of twenty years of speculation and Research on the role of salt marshes in estuarine productivity and water diversity. In: Hamilton, R. and MacDonald, K.B. (Eds), *Estuarine and Wetland Processes*, pp. 437-525, Plenum, New York.
- Ruttenberg, K.C. (2003). The global phosphorus cycle. H.D. Holland, K.K. Turekian (Eds.), *Treatise on Geochemistry* 8, Pergamon, Oxford pp. 585-643.

## Aplicação da Análise de Sesquiterpanos e Diamantóides em Processos Forenses de Poluição do Meio Marinho

A. Rocha<sup>(1)</sup>, C. Borges<sup>(1)</sup> e I. Cruz<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico, [catarina.rocha@hidrografico.pt](mailto:catarina.rocha@hidrografico.pt)

**Resumo:** O Instituto Hidrográfico é uma das entidades reconhecidas para efetuar análises químicas a amostras de produtos petrolíferos derramados dando apoio à Autoridade Marítima Nacional na resolução de ilícitos de poluição no meio marinho. A metodologia que dá resposta a estes processos tem demonstrado ser bastante coesa na diferenciação de petróleos e derivados pesados mas apresenta limitações quanto à diferenciação de derivados leves devido aos biomarcadores analisados serem geralmente eliminados destes produtos durante o processo de refinação. Contudo, os sesquiterpanos e os adamantanos estão em maiores concentrações neste tipo de produtos e sendo também discriminatórios do tipo e origem de produto são uma ferramenta útil em processos que exigem a diferenciação de amostras com níveis de envelhecimento ligeiros.

**Palavras-chave:** Produto Petrolífero, Sesquiterpanos, Adamantanos, Biomarcadores, Derrames

### 1. INTRODUÇÃO

O Instituto Hidrográfico (IH) é uma das entidades com competência reconhecida para executar análises a produtos petrolíferos derramados dando assim apoio à Autoridade Marítima Nacional na resolução de ilícitos de poluição marinha. Este tipo de análises, vulgarmente designada no IH de peritagem, tem o intento em estabelecer a correlação entre um produto petrolífero derramado e a sua origem. A metodologia aplicada para tal, apesar de ter sido otimizada tendo em consideração estudos desenvolvidos na instituição no âmbito da caracterização e diferenciação de ramos petrolíferas (Biscaya, 1997), baseia-se amplamente na metodologia NORDTEST – *Oil Spill Identification* (Faksness *et al.*, 2002; Dailing e Faksness, 2002) desenvolvida pelo grupo SINTEF. Esta metodologia contempla não só a determinação de n-alcenos/isoprenóides e de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos/séries homólogas alquiladas (PAHs/MPAHs), como também a análise de esteranos, hopanos e esteróides triaromáticos, compostos estes designados comumente por biomarcadores. Embora os n-alcenos/isoprenóides e os PAHs/MPAHs possam ser aplicados na determinação de razões de diagnóstico (RD) úteis na diferenciação de amostras de produtos petrolíferos, estes componentes são suscetíveis a processos de envelhecimento, como a evaporação e a biodegradação, promovendo alterações composicionais nos produtos petrolíferos que podem comprometer a sua distinção. Já os biomarcadores são componentes que se encontram nos produtos petrolíferos em concentrações relativas distintas pois são dependentes das condições geológicas de formação dos petróleos e, sendo também bastantes resistentes a processos de degradação, são largamente utilizados na caracterização, diferenciação e correlação de produtos petrolíferos de diferentes

origens. Possuem uma estrutura molecular bastante condensada e um ponto de ebulição elevado sendo a razão pela qual, durante os processos de refinação do petróleo, estes componentes são removidos da constituição dos produtos refinados leves e médios como as gasolinas e os gasóleos. A ausência destes componentes neste tipo de produtos faz com que a sua caracterização e diferenciação seja comprometida, especialmente no que respeita à análise de amostras relativas a processos de peritagem onde a análise destes componentes é parte importante para o estabelecimento da correlação entre a composição química da amostra da contaminação, exposta às condições ambientais e por isso bastante sujeita a degradação, e a amostra testemunho, recolhida na fonte que se considera ser o suspeito causador do derrame. Ao que concerne à análise de amostras de crudes e de produtos petrolíferos pesados, esta metodologia é bastante robusta mas, como referido, apresenta limitações no que se refere à análise de amostras de produtos refinados leves e médios. No sentido de colmatar esta carência tem-se efetuado estudos de caracterização e diferenciação de produtos petrolíferos aplicando biomarcadores bicíclicos, designadamente os sesquiterpanos (SQs) e os adamantanos (ADs). Os SQs e os ADs são constituintes dos crudes e, como eluem no intervalo do decano ao heptadecano, fazem parte da constituição dos derivados leves e médios. São relativamente resistentes a processos evaporação e de biodegradação e, dado as diferentes estabilidades térmicas entre compostos homólogos, são amplamente utilizados na avaliação do nível de biodegradação e aferição do grau de maturação (Wang *et al.*, 2006; Nasir e Fazeelat, 2013). Estes factos, aliados às suas diferentes abundâncias relativas nos vários produtos refinados, torna-os passíveis de serem utilizados em análises forenses de

índole ambiental (Stout *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2009).

O presente estudo vem comprovar a aplicação da análise dos SQs e ADs na caracterização e diferenciação entre produtos refinados de diferentes origens e a importância do seu enquadramento na metodologia destinada à resolução de processos de peritagem.

## 2. MÉTODOS

Com o intuito de comprovar a diferenciação entre tipos/origens de produtos petrolíferos, foram sujeitos a análise de SQs e ADs por Cromatografia Gasosa-Espetrometria de Massa, diferentes tipos de produtos

petrolíferos refinados e crudes de diversas origens. A sua aplicabilidade à determinação da origem de produto derramado foi comprovada pela análise de um estudo de caso segundo a metodologia vigente no IH para este tipo de processos.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Diferenciação de produtos petrolíferos através das distribuições relativas e das razões de diagnóstico de sesquiterpanos e adamantanos

Na Fig. 1 estão apresentadas as concentrações dos SQs e ADs, expressas sob forma percentual relativamente ao total de SQs e total de ADs, respetivamente.

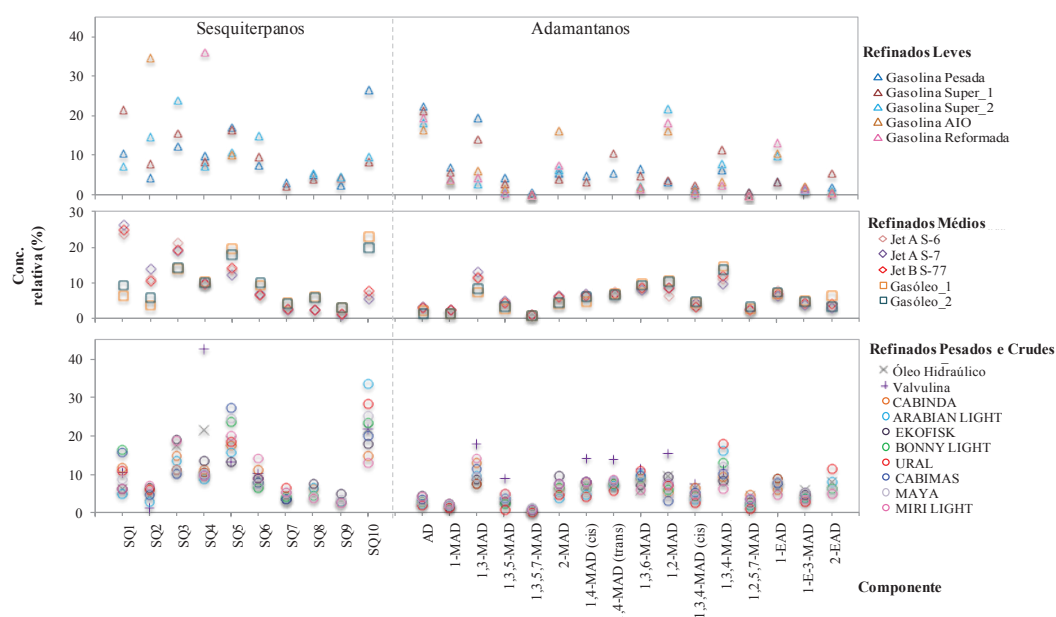


Fig. 1. Concentrações relativas de SQs e de ADs nos diversos produtos petrolíferos.

Pela análise da Fig. 1 observa-se que as concentrações relativas dos SQs e ADs variam dentro da mesma classe de derivados refinados. É notório também que as concentrações relativas destes componentes são diferenciadas para os diversos crudes estudados o que confere um caráter discriminatório relativamente à origem dos produtos petrolíferos. Contudo, a maior variabilidade entre concentrações relativas é verificada para SQ1, SQ3, SQ5, SQ10, 1,3-MAD, 1,2-MAD, 1,3,4-MAD (*trans*) e 2-EAD.

No que concerne às RD, estas têm sido amplamente utilizadas no estabelecimento do nível de correlação e diferenciação entre produtos petrolíferos. Neste estudo, foram tidas em consideração as RD apresentadas por Wang *et al.*, (2005) e Wang *et al.*, (2006). Porém, para evitar problemas inerentes à divisão por zero e a intervalos de valores de RD muito amplos, as RD foram convertidas para a forma  $a/(a+b)$  e expressas em percentagem de acordo com o sugerido pela metodologia NORDTEST. Adicionalmente, de modo a avaliar se as diferenças

entre as RD determinadas são significativas, foram determinados os respetivos intervalos de confiança pelo teste t-student, para ensaios efetuados em triplicado e para 95% de confiança. As RD para as quais se observaram desvios-padrões relativos superiores a 5% foram também desprezadas da análise por se considerar que apresentam variabilidade de valores entre réplicas acima do aceitável (Faksness *et al.*, 2002; Dailing e Faksness, 2002). Na Fig. 2 estão representadas as RD dos SQs e ADs e os respetivos intervalos de confiança. Apenas três RD foram eliminadas do estudo de comparação devido ao facto de os componentes que estão envolvidos no seu cálculo se encontrarem em baixa abundância nesses produtos e, por isso, o erro associado à medição do pico cromatográfico é grande. Pela análise da Fig. 2 observa-se que as RD dos SQs e dos ADs são diferentes entre tipos e origens de produtos petrolíferos. Contudo, as maiores diferenças são notórias entre as gasolinas e entre os crudes estudados. As RD de maior caráter discriminatório são aquelas que envolvem

componentes para os quais também se verificaram as maiores diferenças entre as suas concentrações relativas.

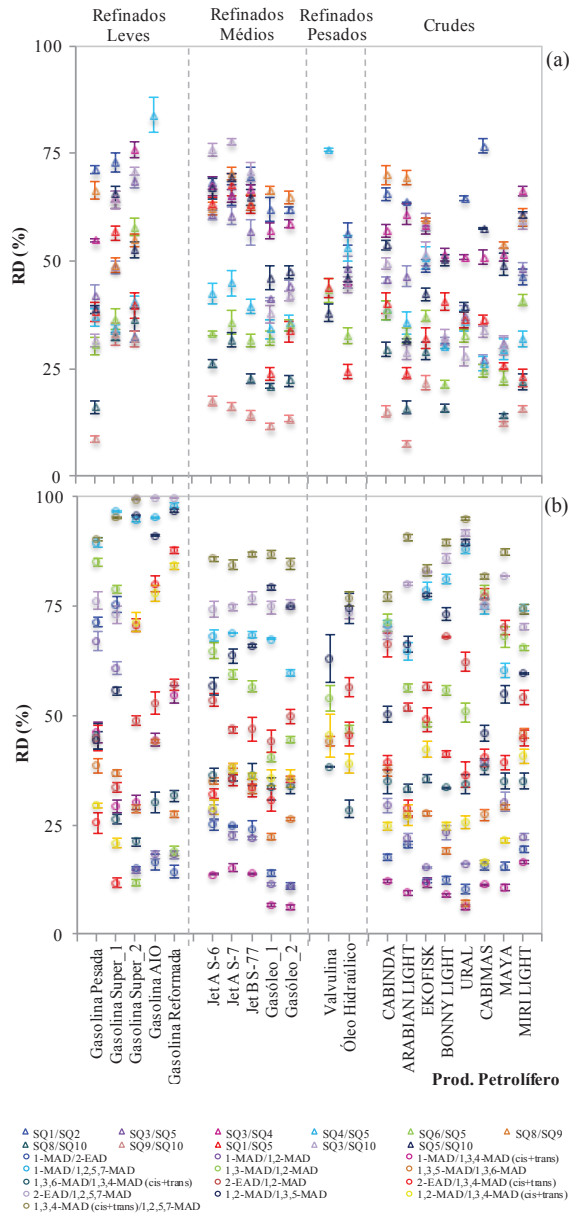


Fig. 2. Razões de diagnóstico e respetivos intervalos de confiança (95%; n=3) de SQs (a) e ADs (b).

### 3.2. Estudo de Caso

Tendo em consideração os estudos anteriores e o facto de existir alguma dificuldade na aplicação da metodologia NORDTEST a casos de derrame que envolvem produtos refinados leves é apresentado neste ponto um estudo de caso.

Neste incidente, foram analisadas três amostras: a amostra testemunho, recolhida na fonte que se considera suspeita do derrame e duas amostras da contaminação, uma não envelhecida e outra sujeita a envelhecimento ligeiro, ou seja 48h de exposição a condições ambientais, nomeadamente a exposição solar, temperatura aproximadamente 25°C e presença de água. Na avaliação dos cromatogramas

e dos perfis de concentração relativa das três amostras, verificou-se a presença de n-alcenos/isoprenóides e de PAHs/MPAHs em concentrações similares. Porém, os biomarcadores estão ausentes, na sua generalidade, devido ao tipo de produto petrolífero em questão. Por este motivo, as RD entre biomarcadores não foram determinadas que, tendo em conta a estabilidade destes compostos e o seu caráter diferenciador, se torna um tratamento de resultados indispensável neste tipo de averiguações. Deste modo, apenas as RD entre n-alcenos/isoprenóides e PAHs/MPAHs foi passível de ser efetuada, componentes estes cujas concentrações são facilmente alteradas devido a processos de envelhecimento. Relativamente a este ponto, a amostra da contaminação sujeita a envelhecimento revelou um ligeiro estado de degradação, facto comprovado por alguma depleção dos alcanos C10 a C12, do naftaleno e metilnaftalenos e dos ADs, facto comprovado pelas suas concentrações relativas serem ligeiramente inferiores na amostra da contaminação comparativamente com as obtidas na amostra testemunho. No entanto, a avaliação das razões de envelhecimento (RE) não reflete degradação da amostra uma vez que estas não foram determinadas tendo em consideração nenhum dos componentes afetados. No que concerne à amostra da contaminação não envelhecida verificou-se que, quer as concentrações relativas dos componentes estudados quer as RE eram semelhantes às obtidas para a amostra testemunho. Quando uma amostra é sujeita a efeitos de envelhecimento, as concentrações dos componentes mais afetados, como o caso dos alcanos, os metilfenantrenos e os dimetilfenantrenos (componentes utilizados no cálculo das RD), alteram-se. Deste modo, as RD que envolvem estes componentes não refletem a caracterização da composição original da amostra. Por este motivo, poderão surgir avaliações erróneas no estabelecimento do nível de correlação entre amostras e por isso, nestes casos, as RD determinadas com base em componentes afetados por processos de envelhecimento não deverão ser contabilizados na análise de correlação. Apesar de não se ter verificado, em ambas as amostras da contaminação, a depleção dos alcanos C17 e C18, do pristano e fitano e dos metilfenantrenos e dimetilfenantrenos, as suas RD não foram contabilizadas na apresentação da análise de correlação embora se garanta que para todas estas RD a correlação atribuída foi positiva. Pretende-se assim facilitar a visualização do nível de correlação das RD de SQs e ADs entre as amostras da contaminação e a amostra testemunho (Fig. 3). Os intervalos de confiança da RD foram determinados consoante o teste *t-student*, para análises em triplicado e 95% de confiança, e a representação linear a verde reflete a “*correlação perfeita entre amostras*”. O cruzamento dos intervalos de confiança da RD com a “*correlação perfeita entre*



amostras” indica que a correlação é positiva entre RD de ambas as amostras em análise.

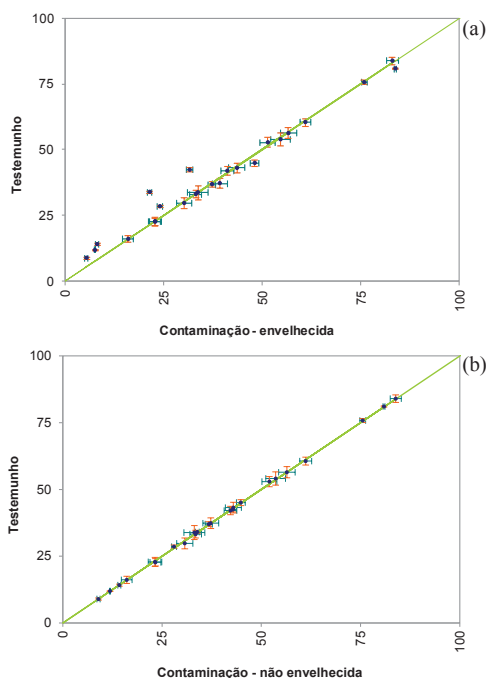


Fig. 3. Análise de correlação entre as RD de SQs e ADs das amostras da contaminação-envelhecida e testemunho (a) e das amostras da contaminação-não envelhecida e testemunho (b).

Observando a Fig. 3, pode-se referir que todas as RD entre SQs e entre ADs da amostra da contaminação não envelhecida se correlacionam com as RD da amostra testemunho. Contudo, no que se refere à amostra da contaminação envelhecida, a maioria das RD que envolvem ADs não se correlacionam com as mesmas para a amostra testemunho devido aos efeitos de envelhecimento observados para esta amostra da contaminação. Pode-se assim referir que, apesar de ter sido admitida que a origem da contaminação é a mesma da amostra testemunho neste processo de peritagem, os efeitos de envelhecimento, mesmo que em níveis ligeiros, afetam a composição dos produtos petrolíferos quanto à presença de ADs embora a composição relativa em SQs seja inalterada, facto que não vai de encontro com os estudos de envelhecimento obtidos por alguns autores (Stout *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2009).

#### 4. CONCLUSÕES

Este estudo refere a aplicabilidade da determinação de sesquiterpanos e adamantanos na diferenciação de produtos petrolíferos refinados e a sua utilização em situações de identificação da origem de derrames destes produtos. Após a análise de diversos tipos de produtos petrolíferos, entre eles refinados leves, médios, pesados e crudes de diversas origens, pode-se concluir que os sesquiterpanos e os adamantanos subsistem nos produtos petrolíferos em concentrações relativas distintas permitindo a diferenciação entre tipo e origem de produto. Além

disso, as razões de diagnóstico determinadas utilizando estes componentes possuem caráter discriminatório, especialmente para os refinados leves. Conclui-se também que estas razões de diagnóstico são extremamente úteis em situações em que é necessário estabelecer a correlação entre uma contaminação de um produto petrolífero, onde estão ausentes biomarcadores de elevada massa molecular, e a sua fonte suspeita desde que as amostras não apresentem grandes níveis de degradação.

#### REFERÊNCIAS

- Biscaya, J.L. (1997). Parâmetros Quimiométricos para Identificação/ Classificação de Derrames de Produtos Petrolíferos. *Tese de Doutoramento*, Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 310 p..
- Dailing, P.S. and Faksness, L.G. (2002). Laboratory and Reporting Instructions for the CEN/BT/TF 120 Oil Spill Identification – Round Robin Test – May 2001. *Nordtest Technical Report no. 499*, Norway: SINTEF Applied Chemistry, 54 p..
- Faksness, L.G.; Weiss, H.M.; Daling, P.S. (2002). Revision of the Nordtest Methodology for Oil Spill Identification. *Nordtest Technical Report no. 498*, Norway: SINTEF Applied Chemistry, 110 p..
- Nasir, S. and Fazeelat, T. (2013). Diamond Hydrocarbons as Maturity Indicators for Condensates from Southern Indus Basin, Pakistan. *Hindawi Publishing Corporation Journal of Chemistry*, 2013, 1-10.
- Stout, S.A.; Uhler, A.D.; McCarthy, K.J. (2005). Middle Distillate Fuel Fingerprinting Using Drimane-Based Bicyclic Sesquiterpanes. *Environmental Forensics*, 6, 241-251.
- Wang, Z.; Yang, C.; Fingas, M.; Hollebone, B.; Peng, X.; Hassen, A.B.; Christensen, J.H. (2005). Characterization, Weathering and Application of Sesquiterpanes to Source Identification of Spilled Lighter Petroleum Products. *Environmental Science Technology*, 39, 8700-8707.
- Wang, Z.; Yang, C.; Holleborne, B.; Fingas, M. (2006). Forensic Fingerprinting of Diamondoids for Correlation and Differentiation of Spilled Oil and Petroleum Products. *Environmental Science Technology*, 40, 5636-5646.
- Yang, C.; W, Z.; Hollebone, B.P.; Brown, C.E.; Landriault, M. (2009). Characteristics of Bicyclic Sesquiterpanes in Crude Oils and Petroleum Products. *Journal of Chromatography A*, 1216, 4475-4484.

## Numerical evaluation of the river nutrients influence for the Western Iberian coastal region

F. Campuzano<sup>(1)</sup>, I. Kenov<sup>(1)</sup>, D. Brito<sup>(1)</sup>, M. Juliano<sup>(2)</sup>, R. Fernandes<sup>(1)</sup>, L. Pinto<sup>(1)</sup> and R. Neves<sup>(1)</sup>

(1) Maretec – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. [campuzanofj\\_maretec@tecnico.ulisboa.pt](mailto:campuzanofj_maretec@tecnico.ulisboa.pt)

(2) LAMTec-ID – Universidade dos Açores, Lda.

**Abstract:** In order to evaluate the relative importance of the nutrients reaching the coast from the rivers watersheds and their impact in the coastal primary production an integrated catchment-estuarine system was incorporated to the Portuguese Coast Operational Modelling System (PCOMS). At the watershed level, the Mohid Land model provided operationally water flow and properties, including nutrients, for the main river catchments of Western Iberian with a 2 km horizontal resolution. Downstream, several operational hydrodynamic and biological estuarine applications used the previous results as fresh water input flows, filling the gaps in the observation network. From the estuarine models, the tidally modulated water and properties fluxes to the coast were obtained. These fluxes were finally imposed in the PCOMS System, a fully 3D baroclinic hydrodynamic and ecological regional model that covers the Iberian Atlantic coast.

**Keywords:** Numerical modelling, Mohid, Catchment, Estuary, PCOMS, Nutrients

### 1. INTRODUCTION

In the Iberian Peninsula, the largest rivers, with the exception of the Ebro River, discharge on the Atlantic coast draining on its way almost two thirds of the territory. They are an important source of nutrients and sediments to these coastal areas. In order to determine the inland waters contribution to the open ocean, in terms of volume and composition, an original methodology for integrating a system of models was set up.

In order to quantify the importance of these discharges, a watershed model has been applied to the Iberian Peninsula to characterise the river discharges and their influence in the coastal circulation and nutrients processes was evaluated by using a hydrodynamic and ecological model for the Portuguese coastal region.

The different interfaces found by the water from the watersheds to the open ocean were reproduced through numerical models for the first time for the Portuguese coast using the different components of the Mohid Water Modelling System.

### 2. MATERIAL AND METHODS

To reproduce the water continuum from the precipitation areas to its evacuation in the open ocean, a system of coupled models with different time and scale resolutions were designed in order to include the different spatial and temporal scales. At the watershed level, the Mohid Land provides operationally water flow, temperature and nutrient concentrations for the main river catchments of the Western Iberia coast. The MOHID land model is a 3D distributed, continuous, physically based, variable time step model using a finite volume approach based on mass and momentum balance

equations. The simulated processes include water and property transport in porous media, river runoff, evapotranspiration and vegetation growth and water quality processes, i.e. mineralization, nitrification, denitrification in porous media and rivers. Sediment transport and erosion/deposition are also computed for surface waters.

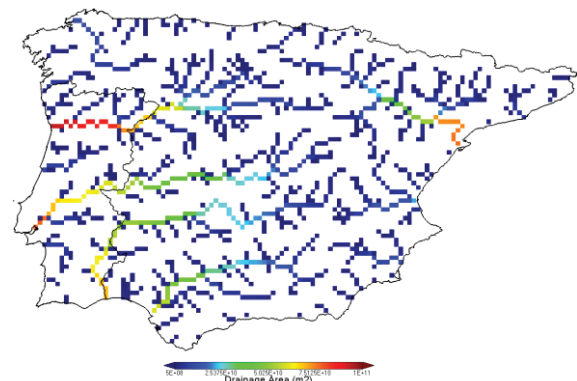


Fig. 1. Main water lines in the Iberian Peninsula indicating the drainage area obtained with the Mohid Land 10 km resolution.

Two applications domains with different resolution and area covered were designed in order to provide high resolution results for Portugal and also able to reproduce the spatial scale of large trans-boundary rivers discharging in Western Iberia as the Tagus, Douro and Guadiana rivers. Using the NASA digital terrain elevation, the Iberian Peninsula domain (IP domain) and the Western Iberia domain (WI domain) with 10 km and 2 km horizontal resolution respectively were obtained (Figure 1). Both domains were populated with data from the Corine 2006 land cover and JRC soil database allowing the model to estimate the amount of water flowing in the water lines without taking into account the human consumption, water reservoirs and dams that could

influence the river flow and the amount of water reaching the coastline.

Downstream, several operational hydrodynamic and biological estuarine applications uses the previous results to provide fresh water input flows for those rivers where data is non-existent. The estuarine models would reproduce the inner dynamics of the estuary and its connection to the outer waters. Fluxes from the latter model, which are intermittent due to the tidal signal, are then imposed in the Portuguese Coast Operational Modelling System (hereafter referred as PCOMS, Figure 2, Mateus *et al.*, 2012).

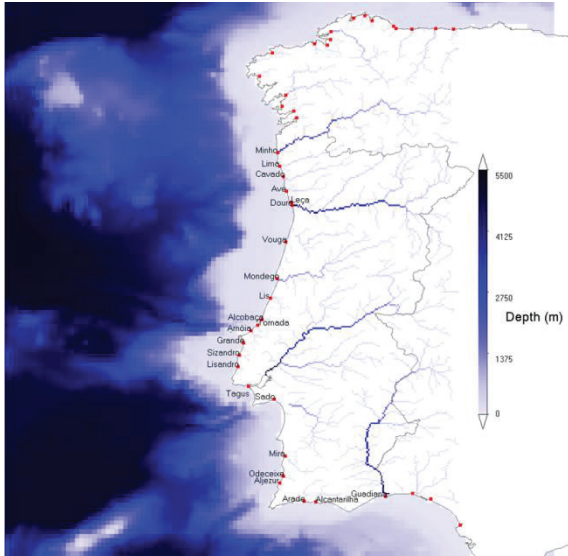


Fig. 2. Main fresh water courses in Western Iberia and the points where rivers discharges were implemented in the PCOMS domain.

The PCOMS model is a 3D full baroclinic hydrodynamic and ecological regional application that downscales the Mercator-Océan PSY2V4 North Atlantic solution with a horizontal resolution of 0.06° and with 50 vertical levels (43 in Cartesian and 7 in sigma coordinates) with a resolution of down to 1 m near the surface (Figure 2). Tides are forced using the global tide solution FES2004 along the ocean boundary (Lyard *et al.*, 2006). The estuarine and the PCOMS models are operated by the Mohid Water model. The set of models were forced with different spatial resolutions using meteorological numerical results from the MM5 and WRF models implemented by the IST meteorological group for the MM5 model (<http://meteo.ist.utl.pt>) and by Meteogalicia (<http://www.meteogalicia.es>) for the WRF model.

This complex system of models is integrated and synchronised through the ART software (Automatic Running Tool), a software for model simulations automation developed at IST. The ART tool pre-processes the boundary conditions from different sources needed to run the model; executes the Mohid water and Mohid Land depending of the application using the configured files and store,

graphs and distributes the model results via opendap, smartphone and Webpages (Figure 3).

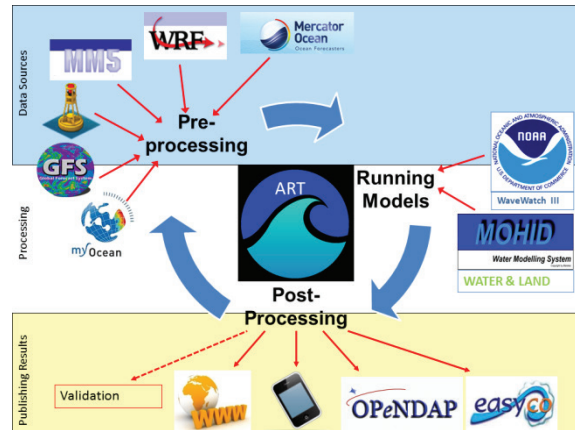


Fig. 3. General scheme of the Automatic Running Tool (ART).

### 3. DISCUSSION

#### 3.1. Watershed Modelling

Modelling results analysed for a three years period, Jan 2011-Dez 2013, indicates that the 10 km resolution (IP Domain) could be regarded as a good approach for large rivers (i.e. Tagus, Douro, Guadiana) however smaller catchments (i.e. Mondego, Figure 4) are better represented by the 2 km resolution. For this reason, when entering the river discharges in the PCOMS model the results for the Guadiana and Guadalquivir will be considered more reliable from the IP Model. In the case of the Tagus and Douro rivers, observed data were used when available.

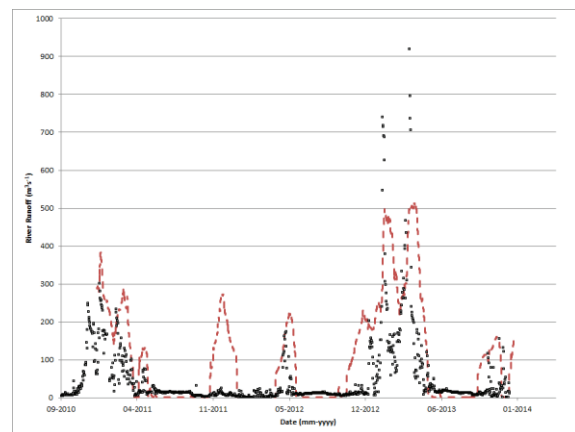


Fig. 4. Observed River Runoff ( $m^3 s^{-1}$ ) for the Mondego River at the Açude Ponte Coimbra station (dots, source: <http://snirh.pt/>) and Mohid Land WI domain results (dashed line) for the period 2010-2014.

According to the Mohid Land model results some small rivers located in high precipitation areas could transport high flows to the coast in a short period. Rivers with larger drainage areas present higher river flows in the entire domain. However, rivers located in the northern area of the Iberian Peninsula present a higher average discharge per unit of area than southern rivers. Table I lists the average river



discharge in terms of flow and inorganic nutrients for the rivers discharging in the Portuguese coast. From these results it can be highlighted that the Douro River, the Tagus River and Guadiana River, in this order present the highest average runoff.

Tab. 1. Average river runoff and dissolved inorganic nutrients for the rivers discharging in the Portuguese continental coast during the 2011-2013 period. The values were obtained using the Mohid Land: (IP) stands for IP Mohid Land domain results and (WI) for WI Mohid Land domain results. Rivers are ordered from North to South.

River	Average Runoff (Hm <sup>3</sup> y <sup>-1</sup> )	Dissolved Nitrogen (Ton y <sup>-1</sup> )	Dissolved Phosphorus (Ton y <sup>-1</sup> )
Minho (WI)	7730	15665	172
Lima (WI)	2120	8255	150
Cavado (WI)	1581	3605	27
Ave (WI)	1241	2775	47
Leça (WI)	120	203	4
Douro (WI)	29359	75049	1119
Vouga (WI)	1869	4447	79
Mondego (WI)	3269	8238	204
Lis (WI)	312	866	23
Alcobaça (WI)	162	334	11
Tornada (WI)	68	176	5
Arnoia (WI)	127	374	11
Grande (WI)	239	399	6
Sizandro (WI)	109	273	9
Lisandro (WI)	67	185	6
Tagus (IP)	16767	43266	413
Sorraia (WI)	624	1772	52
Sado (WI)	1255	3438	105
Mira (WI)	357	957	18
Odeceixe (WI)	65	150	3
Aljezur (WI)	42	93	2
Arade (WI)	148	411	8
Alcantarilha (WI)	214	495	9
Alcantarilha (WI)	214	495	9
Guadiana (IP)	13889	42796	843
<b>Total</b>	<b>81734</b>	<b>214221</b>	<b>3327</b>

In total, the twenty four rivers discharging in the Portuguese continental coast accounted in this study for the period January 2011- December 2013, discharge in average around 82000 Hm<sup>3</sup> per year and around 215000 Tons of dissolved inorganic Nitrogen per year and around 3300 Tons of dissolved inorganic phosphorus. It could be concluded that the Douro River accounts for a third of the nutrients and flow contributions while the Tagus River and the Guadiana River account approximately for a fourth part of the natural contributions.

### 3.2. Linking Models

The watershed models are linked through estuarine models that receives the water from the watershed models (i.e. Aveiro, Minho, Lima,) or when existing from the SNIRH observing system (Douro, Tagus, Mondego). From these estuarine models section fluxes are obtained and in the next step introduce in

the 3D hydrodynamic and ecological regional model PCOMS. If the estuarine model is 3D, the discharge would be distributed in the corresponding depths, as is in the case of the Tagus estuary mouth (Campuzano *et al.*, 2012), the rest of the estuarine models are 2D and thus the discharge is imposed in the surface layer. The rest of the river discharges are directly imposed in the regional circulation model PCOMS.

### 3.3. Ocean Modelling

In order to estimate the influence of the rivers discharges in terms of nutrient fluxes a set of 3D polygons were defined in the Portuguese domain of the PCOMS model. In the present study eight horizontal boxes were considered, numbered from 1 to 8 from south to north, in correspondence of the main Portuguese riverine systems (Figure 5). In this sense, the Tagus estuary would discharge in Box 4, the Mondego River in Box 5 and the Douro River in Box 6. Each box was discretized into five vertical layers covering the first 500 m with variable with from top to bottom of 10 m, 10 m, 30 m, 150 m and 200m.

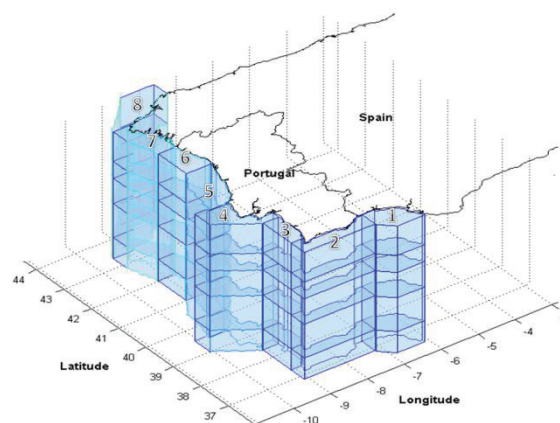


Fig. 5. 3D Monitor boxes defined for the Portuguese coast, numbered from 1 to 8 from south to north, in correspondence of the main Portuguese riverine system.

Water and nutrients fluxes were calculated across the surface of the boxes enabling to assess the exchanges of water masses and nutrients between boxes along the Portuguese coast. To assess the impact of river nutrients across the different boxes, the fluxes across the first box was obtained for the year 2013 (Table II). Modelling results present a picture of a coastal area almost dominated by upwelling with the exception of the box 8 where a net downwelling was obtained for this year.

Regarding nutrients fluxes, it should be considered that they are influenced by the primary production, organic matter respiration and by exports to deeper areas in organic forms. The first layer of the 3D boxes corresponding to the first 10 m, mainly receives nitrogen, nitrate and ammonia, from deeper waters with the exception of boxes 5 and 6 that correspond to the Douro-Mondego region. That



region makes that the overall result is a net input of dissolved inorganic nitrogen to deeper waters. On the other hand, inorganic phosphorus fluxes are positive for the entire domain. When compared with the river discharges, Table I, deeper waters are an order of magnitude higher in the case of the phosphorus. In the case of Nitrogen, fluxes for all boxes are positive in interface at 50 m with values of the same magnitude of the rivers discharge, so a deeper analysis should be performed taking into account the primary and secondary production.

Tab. II. Water fluxes and dissolved inorganic nutrients between the surface and the boxes below for the year 2013. Positive values indicate fluxes to the surface layer while negative values indicate fluxes to the beneath box. Boxes are ordered from North to South.

Box	Water Flux (Hm <sup>3</sup> y <sup>-1</sup> )	Nitrate (Ton y <sup>-1</sup> )	Ammonia (Ton y <sup>-1</sup> )	Inorganic phosphorus (Ton y <sup>-1</sup> )
1	17756	1110	3856	1402
2	949110	5578	3232	11199
3	512337	1767	1050	5522
4	1128480	2342	3880	12267
5	602879	-1550	-618	7863
6	527218	-9830	-23448	5935
7	548840	394	-8017	7417
8	-31797	77	2301	828
<b>Total</b>	<b>4254823</b>	<b>-112</b>	<b>-17764</b>	<b>52433</b>

#### 4. CONCLUSIONS

This set of operational models when combined are able, through this methodology, to provide gapless data of fresh water discharge and to improve coastal hydrodynamic and ecological models when

compared with the use of river climatologies. Also they are a valuable tool for understanding the nutrient budgets, paths and fate. The developed methodology is generic and is already applied to different estuaries in the Portuguese coast favouring the achievement of more precise coastal circulation and to study their influence in the creation of salinity and temperature fronts and the nutrient coastal input all of which are relevant to fisheries management.

#### REFERENCES

- Campuzano, F.J., Fernandes, R., Leitão, P.C., Viegas, C., de Pablo, H. and Neves, R. (2012). Implementing local operational models based on an offline downscaling technique: The Tagus estuary case. *2.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, 20-22 June 2012, Lisbon, Portugal. Extended abstracts: 105-108.
- Lyard, F., Lefevre, F., Letellier, T. and Francis, O. (2006). Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004, *Ocean Dynamics*, 56, 394-415.
- Mateus, M., Riflet, G., Chambel, P., Fernandes, L., Fernandes, R., Juliano, M., Campuzano, F., de Pablo, H., Neves R. (2012). An operational model for the West Iberian coast: products and services, *Ocean Science*, 8, 713-732.
- Neves, R. (2013). The MOHID concept. In: M. Mateus & R. Neves (eds.). *Ocean modelling for coastal management - Case studies with MOHID*. IST Press, Lisbon, 1-11.

# Monitorização Ambiental no Estuário do Tejo – um caso prático de evolução temporal

J. Reis <sup>(1)</sup>, C. Borges <sup>(1)</sup> e M. Valença <sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico, remedios.reis@hidrografico.pt

**Resumo:** O Instituto Hidrográfico leva a cabo, desde 2000, um programa de monitorização da zona estuarina junto ao local da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos da região de Lisboa, de modo a avaliar a sua qualidade ambiental em termos de água e sedimento. Os resultados obtidos a partir da análise de indicadores-chave, como nutrientes e oxigénio dissolvido, permitem concluir que há tendência para uma ligeira diminuição dos teores de nutrientes no período em análise e também que as descargas provenientes do ponto Lb não têm impacto significativo nas águas do estuário.

**Palavras chave:** nutrientes, distribuição espaço-temporal, parâmetros físico-químicos, eutrofização

## 1. INTRODUÇÃO

O Instituto Hidrográfico leva a cabo, desde 2000, um programa de monitorização da zona estuarina envolvente à área de implantação da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos da região de Lisboa. O referido programa avalia a qualidade ambiental em função dos resultados de diversos parâmetros nas matrizes água e sedimento em quatro pontos distintos, três situados no próprio estuário (La1, La2 e La3) e um outro situado no final duma vala de escoamento (vala de drenagem - Lb) que transporta, para o rio, água proveniente de diversas fontes não controladas (Fig. 1).



Fig. 1. Localização das estações de amostragem do estuário do rio Tejo e da vala de drenagem

A qualidade ambiental da matriz água tem sido avaliada em termos de um conjunto integrado de parâmetros, que inclui a monitorização de parâmetros físico-químicos clássicos e nutrientes bem como de poluentes (metais pesados, compostos halogenados e hidrocarbonetos).

As colheitas foram efetuadas em situação de marés mortas e em Praia-Mar (PM) e Baixa-Mar (BM).

Deve-se aqui notar que, em situação de BM, o ponto Lb se encontra isolado do estuário, devido ao

assoreamento verificado. Apenas com a subida da maré existe algum intercâmbio de águas entre a vala de drenagem e o estuário.

## 2. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Neste estudo apresentam-se os resultados obtidos para um conjunto selecionado de parâmetros considerados indicadores-chave da qualidade de águas de transição, nomeadamente nitrato ( $\text{NO}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2$ ), amónia ( $\text{NH}_3$ ), fosfato ( $\text{PO}_4$ ), salinidade (SAL) e oxigénio dissolvido (OD).

Os resultados são apresentados em termos das médias anuais obtidas para os diversos pontos de amostragem, associadas a uma análise estatística de dispersão de resultados que considera a influência da situação de maré.

## 3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

As Figuras 2 e 3 apresentam, respetivamente, os exemplos da distribuição média anual de OD e  $\text{NO}_3$ , por ponto de amostragem.

Conforme se pode observar em ambas as figuras, as estações La1 a La3 apresentam um comportamento bastante semelhante e homogéneo ao longo do período em análise. No caso de  $\text{NO}_3$  (e também de  $\text{NH}_3$  e  $\text{PO}_4$ , cujas distribuições espaciais apresentam um comportamento semelhante), parece haver uma tendência para um decréscimo ligeiro dos teores médios medidos ao longo do período em análise; para o OD, parece haver maior constância dos valores determinados no mesmo período.

Quanto à estação Lb – situada na já mencionada vala de drenagem – apresenta um comportamento muito heterogéneo, com flutuações temporais bastante grandes, e com teores geralmente duas a três vezes superiores aos determinados para as restantes estações. Aliás, a conjugação simultânea de altos teores de nutrientes com baixos teores de OD (mais saliente nos anos de 2000, 2010 e 2012) é indicativa de fenómenos de eutrofização (Statham, 2012).

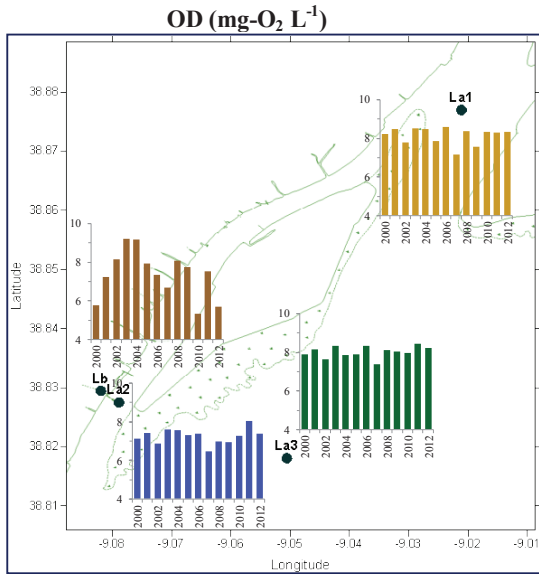


Fig. 2. Distribuição espacial média anual de OD por ponto de amostragem

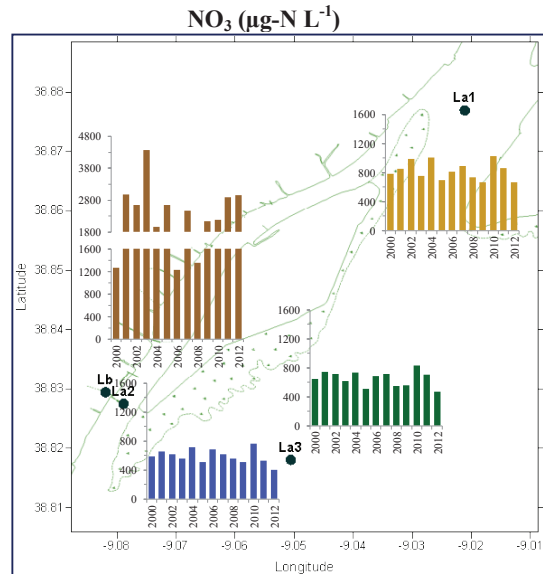


Fig. 3. Distribuição espacial média anual de NO<sub>3</sub> por ponto de amostragem

Nas Figuras 4 a 7 apresentam-se os resultados de tratamento estatístico referido no capítulo anterior para os pontos de amostragem por situação de maré (PM e BM).

Devido à sua semelhança, os pontos La1 a La3 são tratados conjuntamente. Para o ponto Lb

apresentam-se apenas os resultados referentes a NO<sub>3</sub> e OD, uma vez que os restantes parâmetros em análise não são ali efetuados. Os resultados são apresentados em termos de intervalos de aceitação (25-75% e Range) e de valores aberrantes (*Outliers* e *Extremes*)

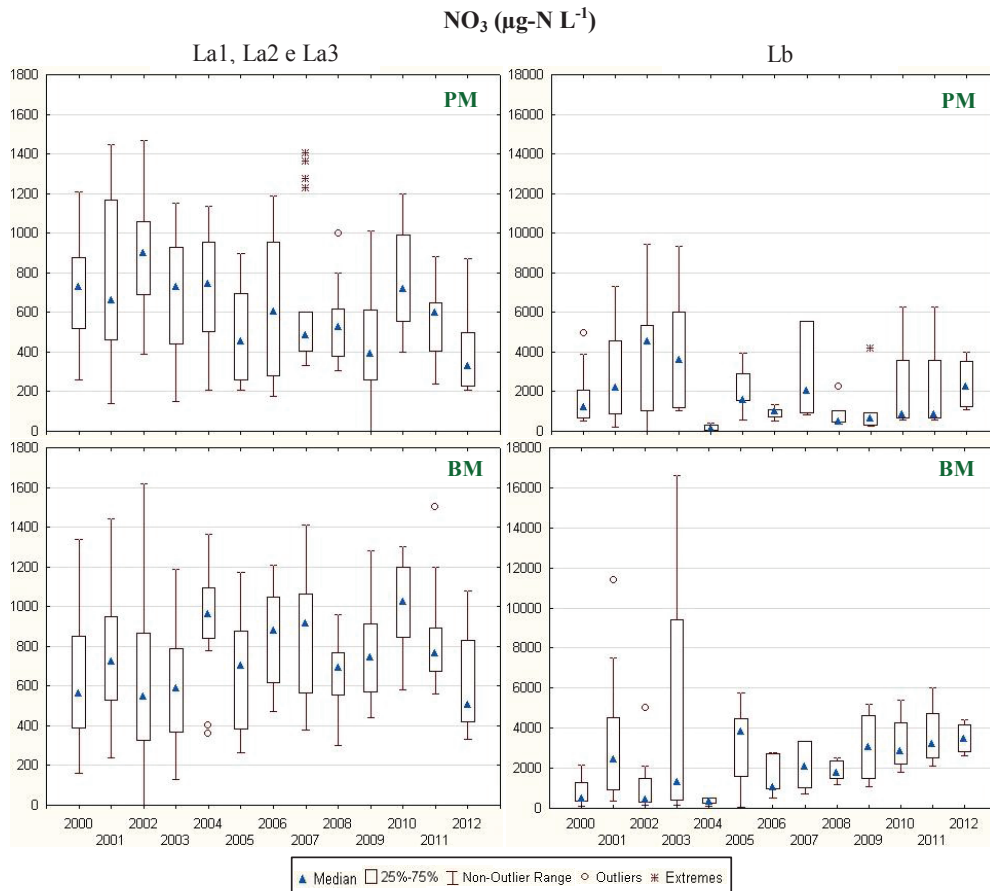


Fig. 4. Distribuição de resultados observados para NO<sub>3</sub> nas situações de PM e BM nas estações La1, La2, La3 e Lb.

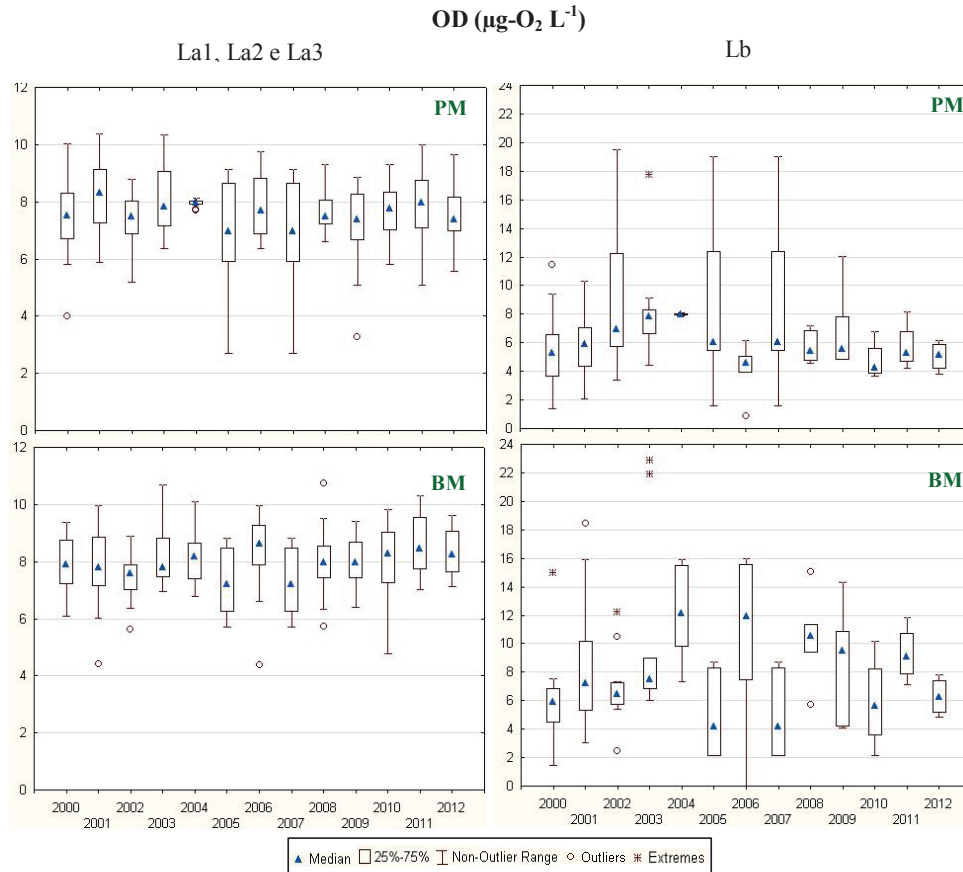


Fig. 5. Distribuição de resultados observados para OD nas situações de PM e BM nas estações La1, La2, La3 e Lb.

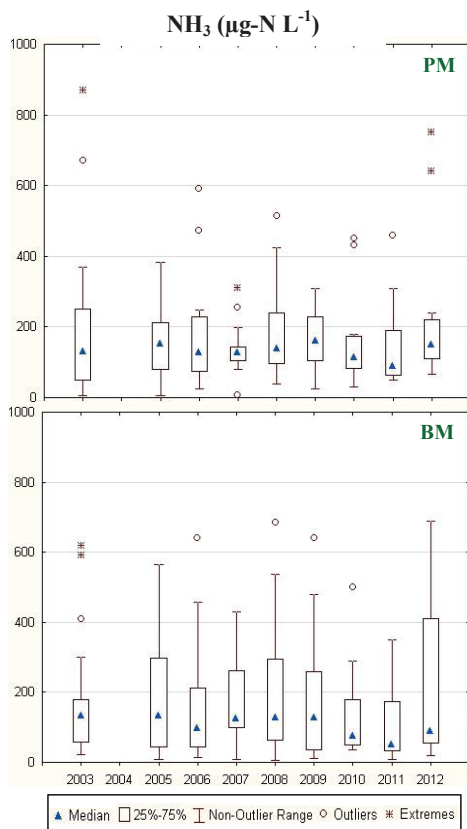


Fig. 6. Distribuição de resultados observados para  $\text{NH}_3$  nas situações de PM e BM nas estações La1, La2 e La3.

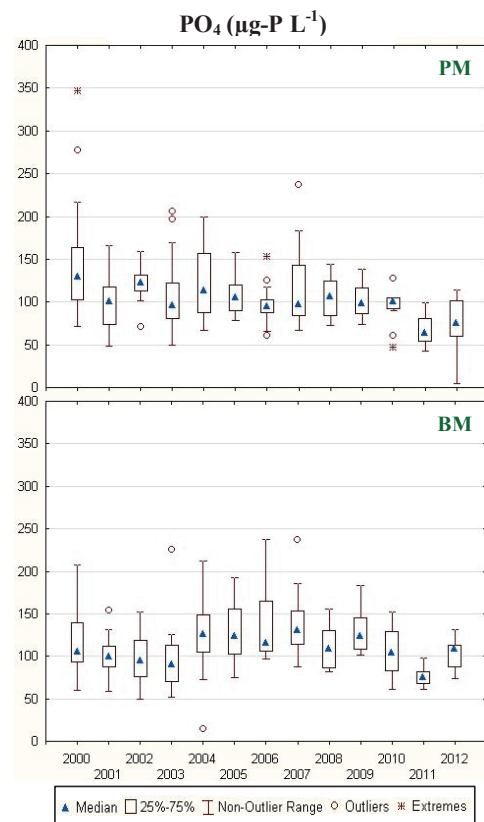


Fig. 7. Distribuição de resultados observados para  $\text{PO}_4$  nas situações de PM e BM nas estações La1, La2 e La3.



Nos pontos situados no estuário, observam-se, tanto para os nutrientes como para o OD, teores ligeiramente mais elevados em situação de BM do que em PM. Este comportamento está de acordo com o esperado, devido a uma maior contribuição fluvial existente nesta última situação de maré, no caso dos nutrientes, e a um aumento da solubilidade do oxigénio com a diminuição da salinidade.

No caso particular dos nutrientes  $\text{NH}_3$  e  $\text{PO}_4$  são observados alguns valores extremos em situação de PM, provavelmente relacionados com a ocorrência de grandes caudais, mas, para além dos dados existentes de salinidade, não foi possível obter mais informações que suportem esta hipótese.

Quanto ao ponto Lb, para além da heterogeneidade de valores já citada, é na situação de BM que se nota uma maior dispersão de valores, em particular no que se refere ao OD, em que são observadas múltiplas situações de comportamento potencialmente anóxico ( $\text{OD} < 4 \text{ mg-O}_2 \text{ L}^{-1}$ ). De notar ainda o resultado de  $17000 \mu\text{g-N L}^{-1}$  para  $\text{NO}_3$  em 2003 que conduz ao resultado médio de cerca de  $4300 \mu\text{g-N L}^{-1}$  observado na Figura 3.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados permitem concluir que parece haver tendência para uma ligeira diminuição das cargas de nutrientes existentes na zona em estudo do estuário do rio Tejo. Pode-se também aferir, e em função dos resultados observados para os pontos La2 e Lb, distanciados cerca de 200 m entre si, que a carga antropogénica proveniente do ponto Lb não tem impacto significativo no estuário, uma vez que os teores encontrados para o ponto La2 são similares aos determinados para os restantes

pontos do estuário, situados a maior distância. Tal significa que a área apresenta uma capacidade de renovação bastante elevada, fruto da deslocação de massas de água por efeito das marés e do caudal do rio.

No caso específico do ponto Lb, os teores determinados para os diversos parâmetros em análise, associados a observações *in situ*, indicam a existência de descargas não controladas, que se acumulam naquele ponto em situação de BM, sendo depois libertadas e diluídas para o estuário em situação de PM.

#### Agradecimentos

Agradece-se à Valorsul, S.A a autorização para o uso dos dados utilizados no presente trabalho.

#### BIBLIOGRAFIA

- Glibert, P.M., Madden, C.J., Boynton, W., Flemer, D., Heil, C., Sharp, J. (eds.) (2010). Nutrients in Estuaries - A Summary Report of the National Estuarine Experts Workgroup 2005–2007, 202 pp.
- National Oceanographic and Atmospheric Administration, Ocean Service Education (online) – Monitoring Estuaries | Nutrients (disponível em URL: [http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/estuaries/media/supp\\_estuar10g\\_nutrients.html](http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/estuaries/media/supp_estuar10g_nutrients.html))
- Statham, P.J. (2012). Nutrients in estuaries — An overview and the potential impacts of climate change. *Science of the Total Environment*, 434, 213-227.

## Controlo estatístico da qualidade em ensaios interlaboratoriais – caso particular de nutrientes em águas salinas

D. Carinhas<sup>(1,2)</sup>, C. Borges<sup>(1)</sup>, P. Silva<sup>(1)</sup> e P. Infante<sup>(2)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico. dora.carinhas@hidrografico.pt

(2) CIMA-UE e ECT, Universidade de Évora

**Resumo:** Devido à grande concorrência no mercado nacional e internacional, os laboratórios procuram a garantia dos seus ensaios. A participação em ensaios de comparação interlaboratorial permite evidenciar a competência de um laboratório através da avaliação do seu desempenho. Neste contexto, a aplicação de ferramentas estatísticas que permitam aumentar a fiabilidade dos resultados assume um papel muito importante. Neste trabalho apresentam-se alguns resultados de estudos de reprodutibilidade e da aplicação de outras técnicas de controlo estatístico de qualidade aos dados de ensaios de comparação interlaboratorial, realizados no Instituto Hidrográfico relativos a nutrientes em águas salinas, no âmbito da acreditação segundo a norma NP EN ISO/IEC 17025. Em particular, procuramos evidenciar a aplicação do controlo estatístico de qualidade aos resultados de ensaios laboratoriais.

**Palavras-chave:** ensaios de comparação interlaboratorial, controlo estatístico de qualidade, reprodutibilidade, nutrientes.

### 1. INTRODUÇÃO

A agricultura intensiva, os esgotos e os resíduos provenientes dos grandes centros urbanos são a causa do excesso de nutrientes nos ecossistemas aquáticos. Os níveis de nutrientes determinam a quantidade de microrganismos que podem crescer em qualquer sistema aquático, pelo que incrementos significativos daqueles níveis se podem traduzir em sobrecargas do ecossistema e conduzir a fenómenos de eutrofização conforme (Statham, 2012). O Instituto Hidrográfico (IH), através da Divisão de Química e Poluição do Meio Marinho promove e realiza estudos e trabalhos destinados a ampliar o conhecimento da química do meio marinho com particular ênfase em águas costeiras e de transição.

A norma NP EN ISO/IEC 17025 descreve os requisitos gerais para o reconhecimento da competência de um laboratório em realizar ensaios e/ou calibrações, incluindo amostragem que é utilizada pelos laboratórios para desenvolver os seus sistemas de gestão para a qualidade, e para as atividades administrativas e técnicas. De acordo com esta norma, o laboratório deve ter procedimentos de controlo da qualidade para monitorizar a validade dos ensaios e calibrações realizadas. A análise destes dados permitirá que sejam tomadas ações de correção planeadas sempre que não sejam satisfeitos os critérios predefinidos. É ainda referida a necessidade dos laboratórios participarem em Ensaios de Comparação Interlaboratorial (ECI) como garantia da fiabilidade dos resultados. A participação em ECI permite evidenciar a competência de um laboratório através da avaliação do seu desempenho reforçando, assim, a confiança nas técnicas desenvolvidas. Os ECI não só contribuem para a avaliação do desempenho dos

laboratórios, como também são a ferramenta de controlo da qualidade utilizada, no IH, para monitorizar a validação de métodos e deteção de erros sistemáticos.

Para cada laboratório/ensaio é calculado um valor z-score:

$$z = (\text{valor do laboratório} - \text{valor de referência})/\text{erro}$$

sendo o desempenho estabelecido de acordo com a seguinte classificação:

$|z| < 2$  satisfatório,  $2 < |z| < 3$  questionável,  $|z| > 3$  insatisfatório (Wells e Cofino, 1993).

### 2. METODOLOGIA

Apresentam-se algumas técnicas estatísticas mais comuns, referidas nas normas ISO 5725 21747 e 21748, com aplicação recomendada em procedimentos de laboratórios.

Destaca-se o tema *outliers*, ou valores aberrantes, que tem sido motivo de preocupações em trabalhos desta natureza.

#### 2.1. Gráficos de controlo

Os gráficos (ou cartas) de controlo, introduzidas por Walter A. Shewart no final da década de 1920, permitem controlar um processo de um qualquer bem ou serviço através da recolha sucessiva de amostras, cálculo de estatísticas amostrais adequadas e da confrontação da informação com os limites de variabilidade inerente ao processo ou serviço (figura 1), ou seja, os gráficos de controlo permitem a monitorização da qualidade do processo ao longo do tempo, permitindo a deteção de causas de variação externas ao processo (ditas assinaláveis), permitindo que sejam implementadas medidas de

correção/eliminação dessas causas em tempo útil e, conseqüentemente, diminuir a variabilidade e assim melhorar a qualidade.

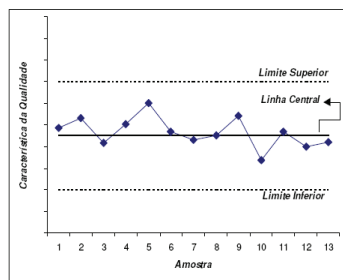


Figura 1 – Gráfico de controle-tipo. Representam-se as sucessivas amostras do processo produtivo (pontos) conjuntamente com a medida de tendência central (linha contínua) e os limites superior e inferior de controle (linha tracejada).

## 2.2. Detecção de outliers

A identificação de valores pertencentes a um conjunto de dados que possam ser caracterizados como *outliers* (ou valores aberrantes), bem como o seu tratamento estatístico é um tema importante no tratamento de dados. Existem vários métodos para o estudo de detecção de *outliers*. O teste de Doerffel é um desses métodos. Este teste, introduzido por Doerffel em 1967 e confirmado por Dean & Dixon em 1981, é utilizado para pequenos conjuntos de dados, e é representado por

$$Q=(X_a-X_r)/R$$

em que  $X_a$  é o valor que se suspeita ser outlier,  $X_r$  é o seu valor adjacente,  $R$  representa a amplitude dos dados e  $Q$  é o valor de teste. O valor testado será aceite se o valor da estatística de teste  $Q$  for inferior ao valor tabelado para essa estatística (Doerffel, 1967; Dean & Dixon, 1981).

## 2.3. Correlação Linear

O conceito de correlação linear refere-se a uma associação numérica linear entre duas variáveis, não implicando necessariamente uma relação de causa e efeito ou mesmo a existência de uma estrutura com interesses práticos. Se a representação gráfica das duas variáveis, num sistema cartesiano, resulta em pontos alinhados, ajustando-se aproximadamente a uma reta, está-se na presença de uma relação linear forte.

O coeficiente de correlação é representado por  $r$ , e os seus valores variam entre -1 (correlação inversa, isto é, as duas variáveis variam em sentidos opostos) e 1 (correlação direta, isto é, as duas variáveis variam no mesmo sentido), sendo o valor zero representativo de ausência de correlação linear.

## 2.4. Precisão, exatidão, repetibilidade e reprodutibilidade

Levinson (1974) comenta que a precisão, definida como a capacidade de reproduzir ou repetir o mesmo

resultado, tem maior importância que a exatidão, definida como sendo a aproximação a um determinado valor verdadeiro.

A figura 2 mostra, de forma esquemática, os conceitos de precisão e exatidão.

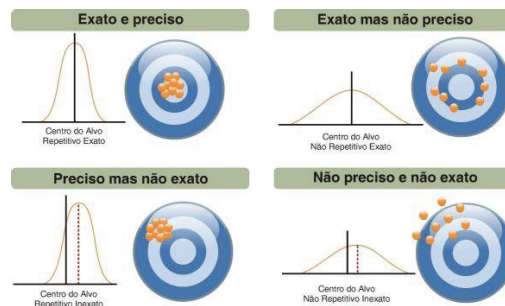


Figura 2 – Precisão e Exatidão (adaptado de <http://www.novus.com.br>, acedido em 19 de novembro de 2013).

A exatidão pode ser expressa em termos percentuais, sendo o resultado da divisão da média da amostra de referência pela média verdadeira, ou seja, pelo valor verdadeiro da amostra de referência. A precisão determina-se com amostras de controle, e pode ser expressa pelo coeficiente de variação, que é a divisão do desvio padrão pela média aritmética da amostra. Comparações entre precisões, para diferentes níveis de concentração, podem ser feitas pela aplicação do teste F, concluindo-se que se as diferenças, neste teste, não forem significativas ao nível de significância definido, a precisão do método mantém-se para todo o intervalo de medição.

A repetibilidade é definida como sendo a diferença máxima aceitável entre medições feitas no mesmo dia, sobre o mesmo material, e é geralmente representada por  $r$ . A repetibilidade mede a concordância entre valores medidos com o mesmo método pela mesma pessoa, pelo mesmo equipamento ou na mesma época. O valor de  $r$  é definido (para quantidades de dados iguais ou superiores a 10 e para 95% de confiança) como sendo  $r=2,8.S_r$  onde 2,8 é o resultado da operação

$2\sqrt{2}$ , valor oriundo da distribuição normal, e  $S_r$  representa o desvio padrão dos resultados obtidos (ISO 5725-6:1994).

A reprodutibilidade, normalmente representada por  $R$ , é uma medida de concordância entre os resultados alcançados pela aplicação do mesmo método em amostras analisadas por operadores diferentes ou laboratórios diferentes. O valor de  $R$  é definido (para quantidades de dados iguais ou superiores a 8 e para 95% de confiança) como sendo  $R=2,8.S_R$  onde 2,8 é o resultado da operação  $\sqrt{2}$ , valor oriundo da distribuição normal, e  $S_R$  representa o desvio padrão dos resultados obtidos (ISO 5725-6:1994).

O índice R&R é uma estimativa combinada da repetibilidade e da reprodutibilidade, ou seja, o R&R é a variância resultante da soma das variâncias dentro de um processo.

### 2.5. Dados não normais

Quando os dados não seguem a distribuição normal temos diversas alternativas: aplicar uma transformação aos dados para que estes tenham distribuição normal (por exemplo, a transformação de Box-Cox) ou utilizar técnicas estatísticas não paramétricas.

## 3. RESULTADOS

Na figura 3, apresenta-se como exemplo, os resultados do IH para a determinação de nitrato, nos ECI Quasimeme, durante o período de 2004 a 2013.

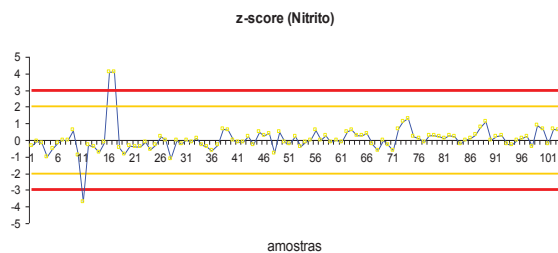


Figura 3 – Representação dos resultados de z-score relativamente ao Nitrato, no período de Abril de 2004 a Abril de 2013.

O gráfico de controlo escolhido, adequado ao tipo de dados, foi o gráfico de controlo para valores individuais. Depois de retirados os outliers obtivemos o gráfico da figura 4:



Figura 4 – Gráfico de valores individuais sob controlo, após remoção de causas especiais.

O coeficiente de correlação entre os valores de Nitrato obtidos no IH e os valores de referência foi igual a 0,99 o que nos indica a existência de correlação direta quase perfeita (figura 5).

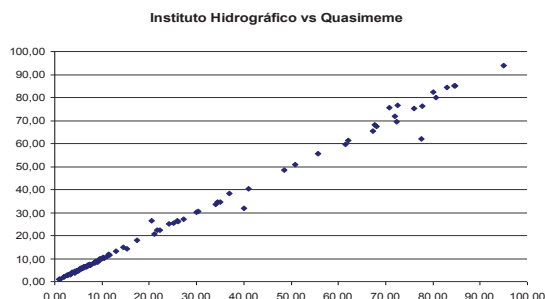


Figura 5 – Representação gráfica dos resultados de Nitrato obtidos nos ECI em 103 amostras.

Os cálculos da repetibilidade e reprodutibilidade foram realizados com recurso ao método da Análise

de Variância (ANOVA), apresentando-se os resultados na Tabela I, Tabela II e Tabela III.

Tabela I – Tabela da ANOVA

ANOVA	G.L.	Soma dos quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Pr(>F)
Laboratórios	1	2,164125243	2,164125243	0,537697972	0,465070307
Amostras/Laboratórios	102	410,5293048	4,024797105	1,79334E+29	0
Repetibilidade	206	4,62326E-27	2,2443E-29		

O fator amostra teve influência significativa no estudo ( $valor\ p < 0,001$ ), portanto, o sistema de medição é capaz de detetar a variação natural existente entre amostras. Da tabela I, observa-se que o fator laboratórios não teve influência significativa nos resultados apresentados ( $valor\ p = 0,465$ ).

A tabela II apresenta os componentes de variação. Os laboratórios tiveram contribuição muito pequena, digamos insignificante na variação do sistema de medição (reprodutibilidade). A maior parte da variação foi devido às amostras analisadas, 99,7%.

Tabela II – Tabela de contribuição

TABELA DE CONTRIBUIÇÃO	Variâncias	Contribuição (%)
Repetibilidade	2,2443E-29	3,19568E-30
Reprodutibilidade	2,012398553	0,286547531
Laboratórios	0	0
Interação	2,012398553	0,286547531
Amostras	700,2789606	99,71345247
Repetibilidade e reprodutibilidade	2,012398553	0,286547531
Total	702,2913591	100

Tabela III – Variação total

VARIAÇÃO TOTAL E/OU TOLERÂNCIA	Desvio padrão	Variação total (%)
Repetibilidade	4,73741E-15	1,78765E-14
Reprodutibilidade	1,41859034	5,353013463
Laboratórios	0	0
Interação	1,41859034	5,353013463
Amostras	26,46278445	99,85662345
Repetibilidade e reprodutibilidade	1,41859034	5,353013463
Total	26,50078035	100

O índice R&R apresenta um valor igual a 5,35% (Tabela III).

## 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados alguns resultados de um estudo de implementação de algumas ferramentas de controlo de qualidade na determinação de nitrato em águas salinas, as quais foram aplicadas ao ensaio acreditado.

O estudo permite evidenciar a mais valia da introdução da análise de repetibilidade e reprodutibilidade como prática a aplicar nos ensaios laboratoriais.

As cartas de controlo constituem um método simples e económico para monitorizar os resultados obtidos no laboratório.

Este exemplo vem demonstrar a competência do laboratório para produzir dados e resultados tecnicamente válidos de acordo com os requisitos da acreditação segundo o referencial NP EN ISO/IEC 17025, permitindo assim o reconhecimento e a



satisfação dos clientes, como um objetivo do Sistema de Gestão da Qualidade do Instituto Hidrográfico.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Instituto Hidrográfico pela cedência dos dados, em particular à Primeiro-tenente Isabel Cruz, chefe da Divisão de Química e Poluição do Meio Marinho, pela disponibilidade em todo o processo de interpretação dos dados.

### **BIBLIOGRAFIA**

Dean, R. B. & Dixon, W. J. (1981). Simplified statistics for small numbers of observations. *Anal. Chem.* 23(1) pp 636-638.

Doerffel, K. (1967). *Die statistische auswertung von analysenergebnissen.* Scharmuller I(ed) Handbuch der Lebensmittelchemie, 2/2, pp 1194-1246

Hamada, M. S.; Borrer, C. M. (2012). Analysing Unreplicated Gauge R&R Studies, *Quality Engineering*, vol.24 pp 543-551.

ISO/IEC 17025 (2005). *Requisitos Gerais de Competência para laboratórios de ensaio e calibração*, Instituto Português da Qualidade.

ISO 5725-6 (1994). *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 6: Use in practice of accuracy values.*

Montgomery, Douglas C. (2009) *Introduction to Statistical Quality Control*, 6<sup>a</sup> ed. Wiley.

Statham, P. J. (2002). Nutrients in estuaries – An overview and the potencial impacts of climate change, *Science of the Total Environment*, 434, 213-227.

Wells, D.E., Cofino, W.P., Quevauviller, P. and B. Griepink (1993). Quality Assurance of Information in Marine Monitoring: A Holistic Approach. *Marine Pollution Bulletin*, vol.26. n<sup>o</sup> 7 pp 368-375.

<http://www.novus.com.br>, acedido em 19 de novembro de 2013.

## PAHs em Sedimentos Marinhos: Concentração e (Bio)disponibilidade (Estudo Preliminar)

C. Torre <sup>(1,2)</sup>, A. Rocha <sup>(1)</sup>, M. Valença <sup>(1)</sup>, C. Borges <sup>(1)</sup>, I. Cruz <sup>(1)</sup> e I. Caçador <sup>(2)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico, cheila.torre@hidrografico.pt

(2) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

**Resumo:** Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs) são sistematicamente identificados e quantificados em sedimentos marinhos. No entanto, a existência de interferentes na sua quantificação tem sido desde sempre um dos maiores desafios analíticos. Mais recentemente, verificou-se a necessidade de estudar também os derivados alquilados dos PAHs devido à sua persistência e aos seus efeitos diferenciados no meio marinho. No presente trabalho apresentam-se os resultados iniciais relativos ao estudo de otimização da técnica de deteção e determinação das concentrações de PAHs e homólogos alquilados através da Cromatografia Gasosa acoplada à Deteção por Espectrometria de Massa (GC-MSD). Para além da determinação da concentração destes compostos pretende-se ainda, em trabalho futuro, fazer uma abordagem ecotoxicológica de modo a avaliar a sua (bio)disponibilidade, isto é, a capacidade de absorção destes compostos por organismos a partir do sedimento.

**Palavras chave:** PAHs, GC-MSD, sedimento e (bio)disponibilidade.

### 1. INTRODUÇÃO

A monitorização do ambiente marinho nas últimas décadas tem sido efetuada com grande ênfase na avaliação de contaminantes químicos em diversas matrizes (água, sedimento e seres vivos). Entre estes contaminantes, têm sido monitorizados em rotina os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs).

Os PAHs constituem uma família de compostos caracterizada por possuir dois ou mais anéis aromáticos condensados e têm a sua génese pela combustão incompleta de material orgânico. Estão associados ao aumento da incidência de diversos tipos de cancro em animais, embora ainda não se encontre totalmente esclarecido o seu efeito no Homem (WHO, 2000). Os PAHs podem ser encontrados em plantas terrestres e aquáticas, solos, sedimentos, águas continentais e marinhas e na atmosfera (Nizzetto *et al.*, 2008), sendo 16 destes considerados como poluentes prioritários pela *United States Environmental Protection Agency* (US EPA). Estas substâncias, bem como os seus homólogos alquilados, têm ampla distribuição e são encontrados como constituintes de misturas complexas em todos os compartimentos marinhos (Netto *et al.*, 2000). Recentemente, verificou-se a necessidade de incluir os homólogos alquilados dos PAHs nos planos de monitorização devido à sua persistência no meio marinho.

Apesar de os PAHs serem sistematicamente identificados e quantificados em sedimentos marinhos, a existência de interferentes na sua quantificação tem sido desde sempre um dos maiores desafios analíticos, não apenas devido à constituição da própria matriz, mas também devido à

dificuldade na eliminação de contaminantes existentes na própria amostra durante a fase de preparação para a análise adequada. Para além da identificação e quantificação destes compostos é igualmente relevante avaliar a sua (bio)disponibilidade. Entende-se por biodisponibilidade (ou simplesmente disponibilidade) a quantidade de poluente presente no ambiente que pode ser captação e absorção pelos organismos. A disponibilidade é função da mobilidade do poluente no sedimento e da sua especiação química, que é determinada por propriedades físico-químicas dos solos, tais como a granulometria, o carbono orgânico total (TOC), a salinidade, o pH e o potencial redox (OSPAR, 2002). No presente trabalho apresentam-se os resultados iniciais relativos ao estudo de otimização da técnica de deteção e determinação das concentrações de PAHs e seus homólogos. É ainda efetuada uma abordagem em termos dos teores de PAHs, homólogos alquilados e PAHs cancerígenos e o seu nível de contaminação nos locais estudados.

### 2. AMOSTRAGEM E MÉTODOS

#### 2.1. Amostragem e localização

O presente estudo apresenta os resultados de PAHs em sedimentos colhidos em 2010 e 2011 provenientes de duas áreas do estuário do rio Tejo sujeitas a uma forte pressão antropogénica: a primeira, na área do Mouchão da Póvoa, a montante do estuário (estações A a C), e a segunda, na Baía do Seixal (estações D a I) (Fig.1). As amostras foram colhidas com recurso a dragas do tipo Smith-McIntyre, com recolha de sedimentos a partir dos primeiros 10 cm da amostra e armazenamento em contentores apropriados.

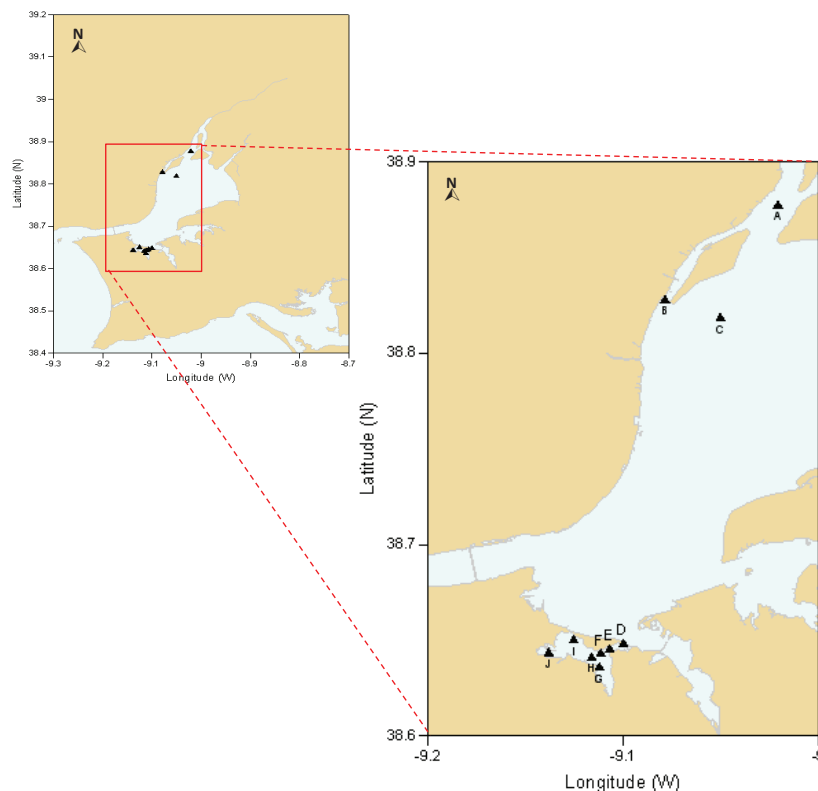


Fig. 1. Localização das estações de amostragem de sedimentos superficiais, no estuário do rio Tejo.

## 2.2. Determinação analítica

As amostras foram analisadas nos laboratórios do IH (Divisões de Química e Poluição do Meio Marinho e de Geologia Marinha), segundo as metodologias internas em vigor. As amostras destinadas a análise de PAHs foram fracionadas por via húmida, com peneiro de malha 2 mm, e mantidas congeladas a  $-18^{\circ}\text{C}$  até à realização da análise laboratorial, tendo sido posteriormente liofilizadas e moídas num moinho de ágata. A análise granulométrica foi efetuada na totalidade das amostras, pelos métodos de peneiração e difração laser. Quanto à determinação dos PAHs, procedeu-se à extração das amostras por aplicação da técnica de Extração Acelerada por Solventes (ASE). Seguidamente os extratos orgânicos foram purificados por cromatografia de adsorção em colunas de sílica gel e alumina básica. Após extração e purificação, a quantificação dos PAHs e dos seus homólogos alquilados foi efetuada pela técnica de Cromatografia Gasosa acoplada à Detecção por Espectrometria de Massa (GC-MSD) no modo de ião selecionado (SIM), que permite um aumento da sensibilidade da técnica analítica relativamente ao método padrão. As determinações analíticas foram acompanhadas por medidas de controlo de qualidade, nomeadamente realização de ensaios em branco, duplicados e análise de materiais de referência.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para efeito de tratamento da informação, os valores ao nível do limite de quantificação (LQ) foram considerados em metade do seu valor absoluto para o cálculo do valor médio e como zero para o cálculo de somatórios.

A Fig. 2, apresenta a distribuição dos componentes silte-argila-areia-cascalho dos sedimentos analisados, verificando-se a existência de uma grande variabilidade dimensional das partículas sedimentares. Nas amostras recolhidas na Baía do Seixal conseguem-se identificar dois grupos distintos: um constituído pelas amostras localizadas à entrada da Baía do Seixal (est. D e E) onde a fração fina ( $<63\ \mu\text{m}$ , constituída por silte+argila) varia entre 3,1 e 34,2%; e um outro que contempla as estações situadas dentro da Baía (est. G, H e I) onde a mesma fração varia entre 84,9 e 96,2%. Nas estações a montante do estuário, as amostras das estações A, B e C têm uma percentagem de fração fina de 3,8; 9,4 e 74,3% respetivamente.

Tendo em conta que a granulometria pode influenciar as concentrações de PAHs em estudo, pois os contaminantes orgânicos têm uma grande afinidade para a fração fina, esta informação foi considerada para cada uma das amostras de sedimento de modo a obter uma caracterização adicional.

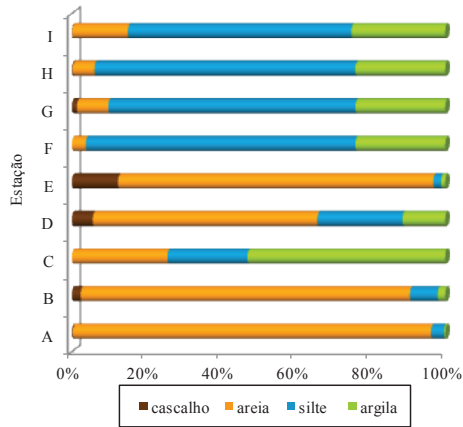


Fig. 2. Distribuição textural (percentagem de argila-silte-areia-cascalho) nos sedimentos.

Na Tabela I apresentam-se as concentrações em base seca ( $\mu\text{g kg}^{-1}$  bs) dos PAHs nos sedimentos, o somatório dos PAHs analisados ( $\Sigma\text{PAH}$ ), o somatório dos PAHs cancerígenos ( $\Sigma\text{CPAH}$ ) e dos homólogos alquilados do naftaleno (C1, C2 e C3-N) e do fenantreno (C1, C2-Phe). Na Fig 3(a) estão representados os perfis de concentração de PAHs para as amostras em estudo. A nível individual parece existir uma tendência para valores mais elevados registados para o Fluo, P e BaA. As estações E, F, G e H são aquelas para as quais se registaram valores do  $\Sigma\text{PAHs}$  mais elevados. Quando analisados os teores em percentagem do somatório dos PAHs cancerígenos verifica-se que

45% do total de PAHs determinados para a estação E têm potencial cancerígeno. Esta estação, localizada na entrada da Baía do Seixal, é a que apresenta o valor de concentração de PAHs cancerígenos mais elevada ( $391 \mu\text{g kg}^{-1}$  bs).

Analisando as Fig. 2, Fig.3(a) e Tabela I verifica-se que na estação E (entrada da Baía do Seixal) o elevado valor encontrado para o  $\Sigma\text{PAHs}$  não está relacionado com a granulometria da amostra, o que leva a considerar a existência de uma elevada contribuição antropogénica. As estações G e H (situadas na margem mais a montante da Baía do Seixal) são muito idênticas sob o ponto de vista granulométrico, mas muito distintas a nível das concentrações de  $\Sigma\text{PAHs}$ , sendo os teores da estação G duas vezes superiores aos encontrados na estação H. Tal como na estação E, os teores encontrados na estação G levam a considerar que deverá existir uma contribuição antropogénica neste local.

Na Fig 3(b) apresentam-se os valores obtidos para as concentrações dos homólogos alquilados determinados. De salientar os resultados mais elevados obtidos para a estação G, sobretudo para o grupo C2-Phe, quando comparados com os valores registados para as restantes estações. Na Fig. 4 apresentam-se as distribuições espaciais dos teores totais em PAHs e homólogos alquilados, observando-se que a Baía do Seixal é a que apresenta valores mais elevados, provavelmente devido a fatores antropogénicos.

Tabela I. Concentrações de PAHs nos sedimentos ( $\mu\text{g kg}^{-1}$  bs), somatório dos PAHs analisados ( $\Sigma\text{PAH}$ ), somatório dos PAHs cancerígenos ( $\Sigma\text{CPAH}$ ) homólogos alquilados.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
N	0,8	5,3	7,7	<0,7	4,6	10	25	11	7,2
Acy	<0,7	<0,7	1,6	<0,7	1,2	<0,7	<0,7	13	8,8
Ace	<0,7	1,8	0,9	<0,7	3,3	2,6	11	2,3	2,1
F	<0,7	2,3	2,5	<0,7	4,4	6,7	22	4,6	6,1
Phe	1,7	12	13	0,7	43	55	103	35	34
A	<0,7	1,7	3,1	<0,7	11	24	51	17	16
Fluo	1,8	10	29	3,1	142	152	389	129	126
P	2,0	11	27	2,5	122	122	289	127	100
BaA	0,7	6,6	14	1,2	67	93	195	80	62
Chr+Tph	1,0	9,7	17	1,6	75	101	202	90	67
BbF	<0,7	<0,7	<0,7	1,7	76	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7
BkF	<0,7	<0,7	<0,7	1,5	73	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7
BaP	<0,7	<0,7	17	1,3	80	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7
Ind	<0,7	<0,7	15	1,1	82	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7
DBA	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	18	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7
BghiP	<0,7	<0,7	18	1,1	75	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7
$\Sigma\text{PAH}$	12	63	166	18	878	569	1288	511	431
$\Sigma\text{CPAH}$	2,1	8,0	46,9	7,2	391	94	196	81	63
% $\Sigma\text{CPAH}$	18	13	28	40	45	17	15	16	15
C1-N	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7
C2-N	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	0,82	<0,7	<0,7
C3-N	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	1,3	<0,7	<0,7
C1-Phe	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	0,82	2,0	<0,7	<0,7
C2-Phe	<0,7	2,3	1,1	<0,7	1,1	1,5	6,3	1,1	1,5

Naftaleno (N), Acenaftileno (Acy), Acenafteno (Ace), Fluoreno (F), Fenantreno (Phe), Antraceno (A), Fluoranteno (Fluo), Pireno (P), Benzo(a)antreceno (BaA), Criseno (Chr), Benzo(b)fluoranteno (BbF), Benzo(k)fluoranteno (BkF), Benzo(a)pireno (BaP), Indeno(1,2,3-cd)pireno (Ind), Dibenzo(a,h)antraceno (DBA), Benzo(g,h,i)perileno (BghiP), Metil, Dimetil e Trimetilnaftalenos (C1,C2,C3-N) e Metil, Dimetilfenantrenos (C1,C2-Phe).



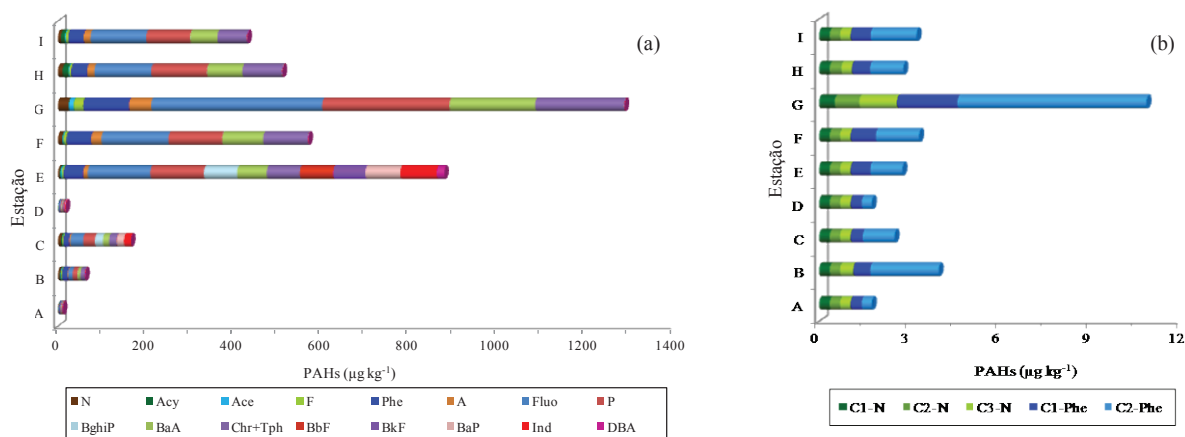


Fig. 3. Perfis de concentração de (a) PAHs prioritários pela US EPA e de (b) homólogos alquilados C1 a C3-N e C1-C2-Phe

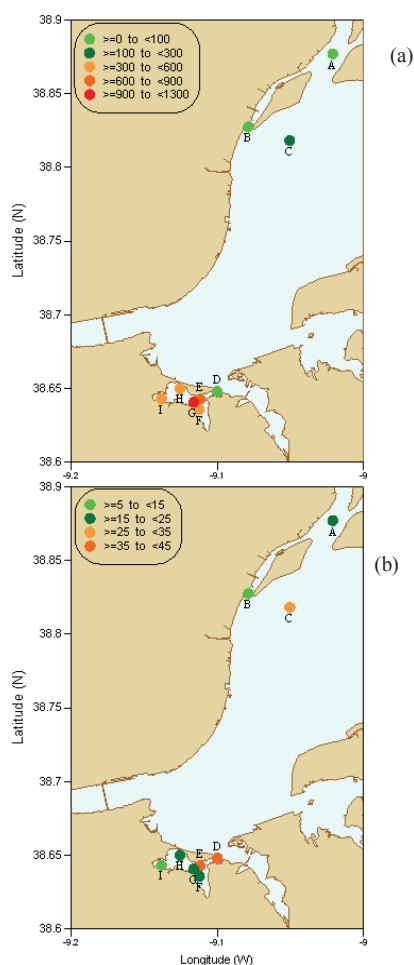


Fig. 4. Distribuição espacial dos teores totais de PAHs (a) e dos teores totais de homólogos alquilados (b).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em consideração as amostras analisadas neste trabalho, parece existir uma forte interdependência entre os valores obtidos para as concentrações dos PAHs e as ações antropogénicas, nomeadamente a existência de indústrias, atividades de navegação, e descarga de efluentes, entre outras. Neste sentido, o desenvolvimento de métodos que permitam concomitantemente uma determinação eficiente e

inequívoca da concentração dos PAHs e da sua (bio)disponibilidade constitui um enorme desafio com o intuito de tentar compreender o risco real destes compostos para os seres vivos. Este risco torna-se ainda mais significativo no estudo dos PAHs que tem elevado potencial cancerígeno como o BaA, Chr, BbF, BkF, BaP, Ind e DBA.

Posteriormente pretende-se ainda fazer uma abordagem ecotoxicológica, ou seja, avaliar em trabalho futuro a sua (bio)disponibilidade, isto é, a capacidade de absorção destes compostos por organismos a partir do sedimento. Pretende-se iniciar o estudo com plantas típicas de sapais (ecossistemas complexos que funcionam como uma interface entre o habitat terrestre e aquático que caracterizam as zonas de estuário). Os sapais são muitas vezes referidos como estações de tratamento naturais de efluentes contaminados, uma vez que possuem a capacidade de prevenir a dispersão de alguns contaminantes nas águas costeiras adjacentes. Desta forma este estudo permite averiguar se esta constatação para contaminantes, como alguns metais pesados, também se aplica aos PAHs e seus homólogos alquilados.

#### REFERÊNCIAS

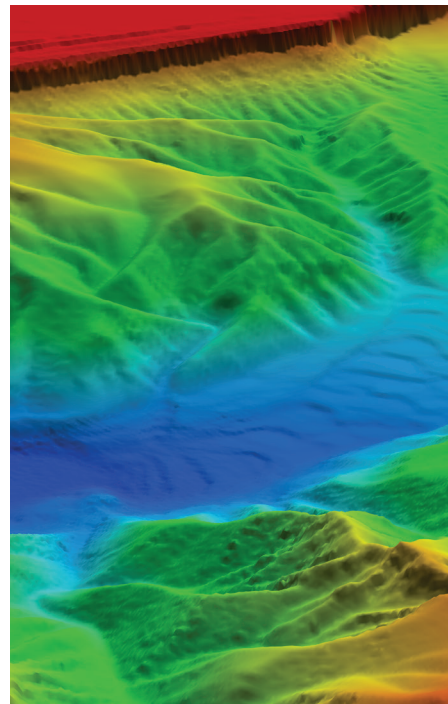
- Netto, A.D., Moeira, J. C., Dias, A., Arbilla, G., 1. F. V. Ferreira, A. S. Oliveira, J. Berek, (2000) *Quim. Nova* 23(6) 765-773.
- Nizzetto, L., Rohmann, L., Gioia, R., Jahnke, Temme, A.C., Dachs, J., Herckes, P., Di Guardo, A., Jones, K. (2008). *Environmental Science Technology*, 42, 1580-1585.
- OSPAR Commission (2009). *OSPAR Guidelines for the Management of Dredged Material*, London, 30 pp.
- WHO Regional Office for Europe (eds.) (2000). WHO Regional Publications, European Series, No. 91 - *Air Quality Guidelines for Europe*, 2<sup>nd</sup> Edition, Copenhagen, Denmark, 288 pp.

# GEOLOGIA MARINHA

---

3.<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica  
Lisboa, 24, 25 e 26 de junho de 2014

---





## Bottom Sediments at the Pilot Zone area (S. Pedro de Moel)

C. Pólvara<sup>(1)</sup>, A. Oliveira<sup>(1)</sup>, L. Rosa<sup>(1)</sup>, J. Pombo<sup>(1)</sup> and A. Rodrigues<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico. [cassandrapolvara@hidrografico.pt](mailto:cassandrapolvara@hidrografico.pt)

**Abstract:** The main sedimentary deposits present in the denominated Pilot Zone for wave energy (*Decreto-Lei n.º 5/2008*), are described using 108 grab samples acquired by IH in May 2011.

Sedimentological analysis was based on grain-size, calcium carbonate content and fine fraction mineralogy. The results permitted to define four sedimentary deposits, with different texture and mineralogical signature, reflecting changes in depositional environmental conditions and hydrodynamic levels: a) a littoral deposit that extends up to 45 m depth; b) a middle shelf sandy gravel deposits, between the 45-85 m depth, with an increase in calcite and mica percentages; c) at depths between 55-65 m a sandy cover deposit was found and; d) at middle-outer shelf a sandy deposit, fine sand, with the higher percentages of calcite and zircon (>20%).

Sedimentological characteristics were compared with previous SEPLAT program results and superficial mapping was complemented with multibeam backscatter analysis, which allowed the increase of cartography resolution.

**Key words:** Pilot Zone, sediments, mineralogy, shelf, deposits, SEPLAT

### 1. INTRODUCTION

The Pilot Zone (PZ), is a maritime area, created by Decreto- Lei n.º 5/2008, located offshore S. Pedro de Moel, below the 30 m isobath, available for test and implementation of renewable energy wave farms. The Instituto Hidrográfico was asked to perform the environmental characterization of the area, with special emphasis on the bottom morphology and upper layers structure and type.

In order to describe and delimit the sedimentary deposits, a new set of superficial sediment samples was collected and analysed (texturally and compositionally). Results were complemented with acoustic information, namely the multibeam backscatter mosaics.

The main objective of this paper is to describe the sedimentary cover of the PZ and correlate the main sedimentologic features with the present day sedimentary environment and its evolution during the past decades. In order to see the bottom sample evolution, in terms of grain-size and composition, the deposits were compared with the ones obtained by the SEPLAT program (SED3 chart).

### 2. STUDY AREA

The study area (PZ), is located in the West-Portuguese coast, offshore S. Pedro de Moel, between parallels 39° 57' 29.9" N and 39° 47' 30.0" N. The area is limited on the west by the meridian 009° 12' 00.0" W, and on the east by the 30 m isobaths (Fig. 1).

The shelf bottom morphology between the 30 m and 110 m isobaths is characterized by a sub-horizontal smooth surface with a gentle slope, only disrupted by the abrupt transition between distinct sedimentary deposits, which can have expressions up to 1 m high. This monotony is interrupted in the NE part, where a major morphologic feature imprints some relief from the bottom surface. It is structurally controlled and probably corresponds to the outcrop of folded and

uplifted pre-rift limestone formations outcrop (Rodrigues, 2003). In the studied area some minor outcrops (2-3 m high) were identified in the southern part, at depths around 45 m, and near the southern border at 65 m depth (6 m high) (Bizarro, *et. al.* 2012).

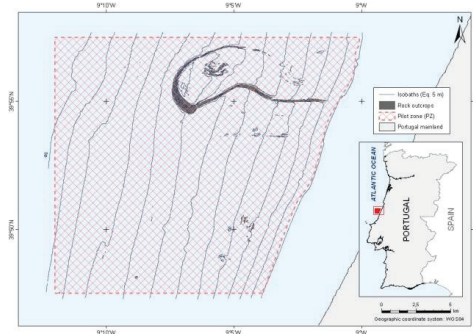


Fig. 1 – The study area and the identification of major rocky outcrops (in grey). Isobaths spacing of 5 m.

### 3. METHODS

Sedimentary cover mapping of the PZ was executed after the sampling and laboratory analysis of 108 superficial sediment samples, collected with a SMITH MCINTYRE grab sampler, in May 2011, on board NRP “Almirante Gago Coutinho” (Fig. 2).

In the laboratory, the sediment samples were immediately analyzed following own methods based on international normalized methods: NT.LB.22 v01, NT.LB.23 v02.01, NT.LB.26 v00.03 and NT.LB.29 v00.03 for grain size analysis, carbon content quantification and mineralogy analysis. In this study, values of measured total inorganic carbon (TIC) were converted in calcium carbonate content (CaCO<sub>3</sub>) multiplying the TIC value by 8.33.

The mineralogical composition of the sediment's fine fraction (<63µm), was determined on samples which had a silt+clay content over >2%. Only 41 samples from the sandy and littoral deposits were analyzed (Fig. 2).



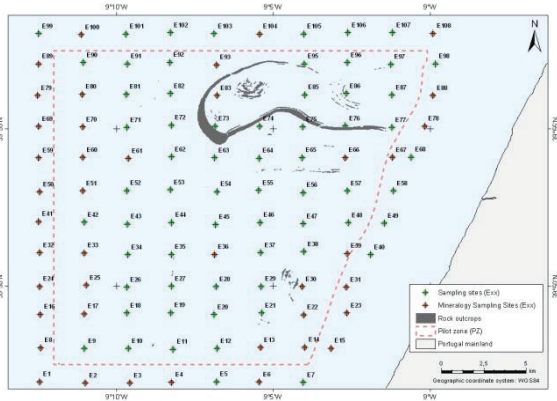


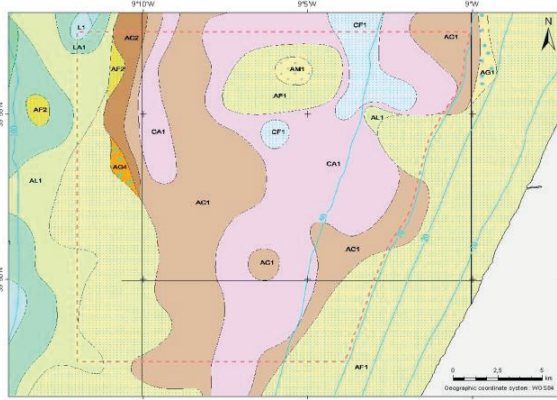
Fig. 2 – Location of superficial sediments sampling stations and identification of samples analyzed for mineralogical fine fraction composition (brown dots).

The semi-quantification of minerals present in sediment samples was accomplished using X-ray diffraction. The equipment used was a PANALYTICAL diffractometer, following Oliveira (2010) procedures. Mineral semi-quantification was determined by calculating the peak areas of their respective, most characteristic, basal reflections, using X'PERT HIGHSCORE Software (v.1.0f) and weighted using empirically estimated reflective powers.

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. SEPLAT

The aim of the SEPLAT program, carried out at IH since 1974 until 2010, was mapping the superficial sedimentary deposits, covering the continental shelf and the upper slope. The PZ area corresponds to SED3 chart and the sediment samples used in the construction of this chart were collect between 1992 and 1998 (Fig.3).



SEDIMENTOS	CASCAIS				AREIAS				SEDIMENTOS LOOSOS			
	L < 15%	A < 1 x 50%	M < 2 mm	C > 50%	L < 15%	A < 1 x 50%	M < 2 mm	L < 15%	A < 1 x 50%	M < 2 mm	L < 15%	
SEDIMENTOS LITOLÍTICOS	CS1	CS2	CS3	CS4	AS1	AS2	AS3	AS4	LS1	LS2	LS3	LS4
SEDIMENTOS STROMBOLÍTICOS	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5	SM6	SM7	SM8	SM9	SM10	SM11	SM12
SEDIMENTOS MULTICLÁSTICOS	ML1	ML2	ML3	ML4	ML5	ML6	ML7	ML8	ML9	ML10	ML11	ML12
SEDIMENTOS BIOLÍTICOS	BL1	BL2	BL3	BL4	BL5	BL6	BL7	BL8	BL9	BL10	BL11	BL12

Fig. 3 – Extract of SED3, Superficial Sediments of the Continental Shelf.

According to the SED3 chart the PZ sedimentary cover is highly variable, with 11 types of deposits, ranging in grain-size and calcium carbonate content (Fig.3). The sedimentary cover can be described as follows: near coast a sandy littoral deposit (AF1), very mobile and subject to wave action; at middle shelf a gravelly sand and gravel deposits (AC1, CA1 e CF1), formed in different sedimentary cycles, controlled by a lower mean sea level; and at middle shelf, sand and muddy sand deposits formed by a mix of particles, both relic and modern (AF1 e AL1). In this map, no rocky outcrops were represented.

4.2. Sedimentary analysis

The PZ is dominated, predominantly, by sandy deposits. Deposits from the E and W boundaries have more than 50% of sand particles, whereas the central area of the PZ has a significant gravel fraction, especially in sandy gravel deposits with percentages of coarser particles over 50%. The fine fraction is scarce all over the PZ, with higher percentages (>25%) in the extreme of the NW sector of the middle shelf sandy deposit, below 85 m depth. The above description is illustrated by the mean grain size distribution map (Fig. 4):

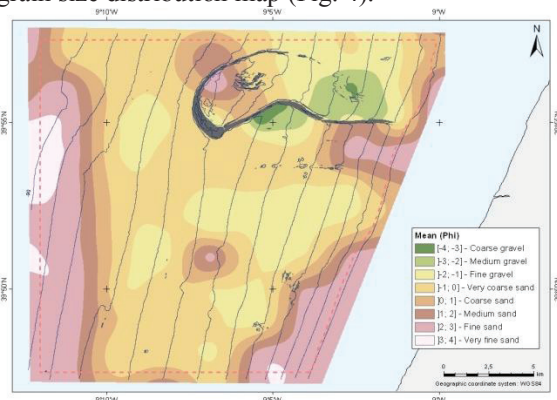


Fig. 4 – Distribution map of mean grain size.

the PZ central area is covered by very coarse sand (-1 to 0φ) and fine gravel (-2 to -1φ), corresponding to the sandy gravel deposit of the middle shelf. These deposits are bordered by fine sandy deposits (particles from 2 to 3φ). The sediments of the PZ area are, in general, poorly sorted (Standard deviation >1). As indicated in Fig. 5, exceptions were found in the inner shelf (depths shallower than 50 m) related to littoral deposits. These inner shelf sediments are well sorted, indicating a very energetic environment.

The CaCO<sub>3</sub> in PZ sediment samples ranges between 1.67% and 49.98%, due to the presence of biogenic, fragments of mollusks, lamellibranches shells, foraminifera and other organisms (echinoderms and bryozoans), independently of water depth (Fig. 6).

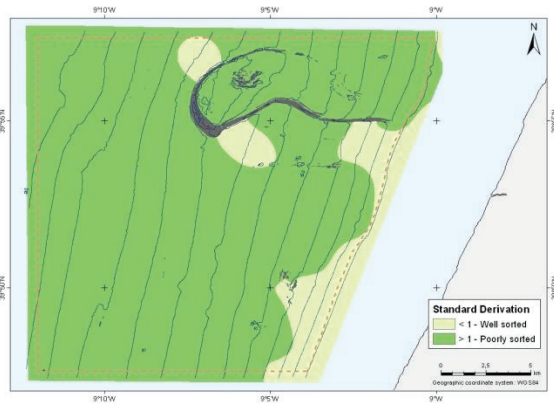


Fig. 5 – Distribution map of standard derivation.

The higher value was found in the NW boundary. The total organic carbon content (TOC), is normally below the quantification limit (0.4%), reflecting the importance of the sandy/gravel component not suitable to the organic matter conservation.

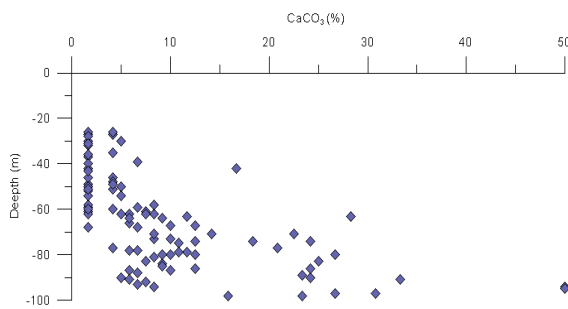


Fig. 6 – Relationship between calcium carbonate content ( $\text{CaCO}_3$ ) and depth.

The fine fraction mineralogy of sandy sediments from the PZ is characterized by the presence of calcite (20.9%), mica/illite (15.9%), zircon (13.6%), feldspar (13.6%), plagioclase (12.8%) and quartz (11.3%), as the main minerals. In minor quantities, chlorite (3.4%), kaolinite (3.3%), anhydrite (1.8%), siderite (1.3%), pyrite (1.3%), amphibole, aragonite, ilmenite and Mg-calcite are observed (Fig. 7).

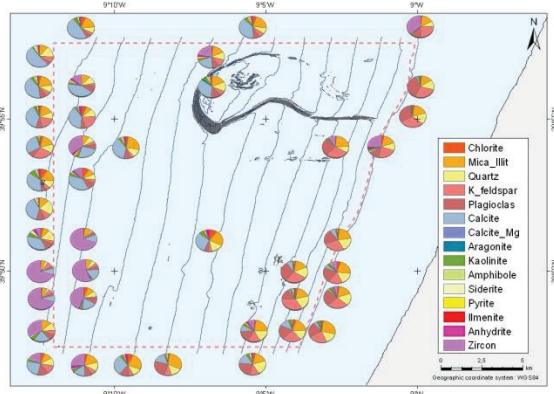


Fig. 7 – Fine fraction mineralogy distribution map.

The littoral deposit presents the highest concentrations of K-feldspar, plagioclase, quartz and mica/illite. The higher percentages of calcite are observed in the NW boundary. The higher percentage of zircon is observed in the SW

boundary, possibly related with a local concentration of this mineral, probably formed in a different sedimentary cycle and not yet covered by modern sediments. Some areas of calcite higher concentrations were also found associated with the middle shelf rocky outcrop as a result of local accumulation of biogenic material (such as gastropods, lamellibranches and foraminifera shells). The highest concentrations of pyrite and anhydrite also bordering the mentioned rock outcrop, and can be explained by the presence of carbonated shells, namely from foraminifera species.

#### 4.3. Backscatter analysis

The multibeam Backscatter Strength (BS) mosaics (Fig. 8), put in evidence the presence of rock outcrops in the northern part of the PZ and three different patches of sedimentary deposits approximately parallel to the coast. The central area has a higher BS value and is represented with a lighter color, compatible with a gravelly sedimentary deposit with superficial ripples. The two external areas (bordering the central deposit), have lower BS values and are represented with a darker color, matching the fine sand which overlay the gravel deposit. Remains of the fine sand deposit can be seen on the lighter stripe, and windows over the gravel deposit can be also seen on both darker stripes. (Bizarro *et al.* 2012).

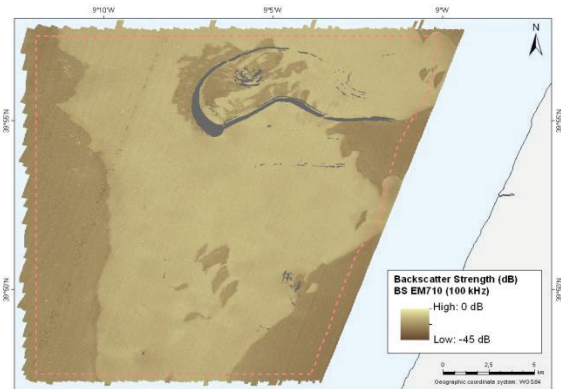


Fig. 8 – Backscatter variation due to the presence or proximity of gravel deposits and rocky outcrops.

#### 4.4. Sedimentary deposits of the PZ area

The integrated analysis of acoustic and sedimentological data allowed a highly accurate delimitation of four main sedimentary deposits in the Pilot Zone main area (Fig. 9).

The inner shelf closer to the mainland (up to 45 m), is covered by littoral deposit. This sedimentary deposit consists of fine sand, moderately sorted to moderately well sorted, with positive skewness. The sand contents percentage ranges between 95% and 99% and the calcium carbonate is under 8.4%. The fine fraction mineralogy is dominated by terrigenous signature species (i.e. quartz, mica and feldspars).



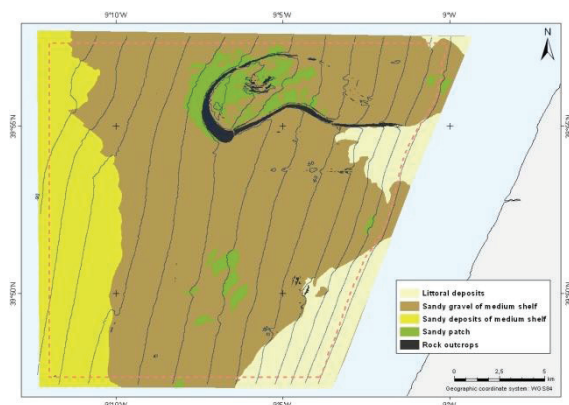


Fig. 9 – Mapping of the identified sedimentary deposits on the Pilot Zone area.

These characteristics as well as the spatial orientation of its deeper boundary (apparently perpendicular to dominant wave incidence), allows the deduction that this deposit is in equilibrium with the present dominant littoral processes.

In the middle shelf, the sandy gravel deposit can be found between the 45-85 m depth. This sedimentary deposit is mainly composed by medium to fine gravel and coarse sand with gravel, very poorly sorted and with positive skewness. The gravel and coarse sand percentage is highly variable ranging between 0-98% and between 1.4-99%, respectively. This heterogeneity is well visible in the grain size distribution curves which present multiple populations (polimodal). The carbonate content ranges between 4-33%, but with two samples richer in carbonates (E90 and E100 samples with 49%) located in the western northern boundary. The fine fraction mineralogical analysis was only possible in four samples, being insufficient to characterize this deposit. Nevertheless, the analyzed samples showed high percentages of calcite, mica/illite and plagioclase.

The middle shelf sandy deposit can be found in depths below 75 m, and consists of fine to very fine sand, poorly to very poorly sorted, with positive skewness. The sand percentage ranges between 72-94% and the silt-clay fraction between 4-26% with the calcium carbonate content of 4-33%. The fine fraction mineralogy shows a general enrichment of calcite and zircon in the deeper southern boundary.

"Sandy patches" are scattered over the sandy-gravelly middle shelf deposit, better represented in depths located between 55-65 m. These consist mainly of fine sand (92-98%), moderately sorted to poorly sorted with positive skewness, and low carbonate content (<8.33%). Fine fraction mineralogy shows a mixture of biogenic remains represented by calcite, with terrigenous (mica/illite, plagioclase) particles.

The sedimentary deposits defined in this study were compared with previous SEPLAT chart (SED3) and no significant differences were found.

## 5. CONCLUSIONS

The sedimentary layer in the Pilot Zone area is mainly formed by coarse sediments (sand and gravel) with low fine sediments content (<63  $\mu\text{m}$ ). The textural analysis, fine fraction mineralogical composition, and the BS analysis confirm the presence of four sedimentary deposits, which were mapped and compared with the previous sediment chart.

Despite the similar deposits and general space distribution, the combination of different techniques and methodologies improved significantly the resolution of sediment mapping and the identification of new superficial structures.

## Acknowledgements

This is a contribution of the study "Caracterização geofísica da Zona Piloto" for experimentation of methods and production of renewable energy, financed by ENONDAS – Energia das Ondas, S.A..

## REFERENCES

- Bizarro, R., Oliveira, A., Santos, A. I., Rosa, L., Pinto, J. P., Pólvora, C., Ferreira, F., Lapa, N., Cruz, I., Pombo, J., Reis, L., Silva, S., Caetano, A., Duarte, J., (2012). Relatório técnico final REL TF GM 04/12 – Caracterização geofísica da zona piloto. 177p.
- Carta de Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental, SED3 – do Cabo Mondego ao Cabo Carvoeiro, à escala 1:150 000, Instituto Hidrográfico, 2010.
- DECRETO-LEI nº 5/2008 (2008). Normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático. *Diário da República nº 176 Série I – A* de 1/8/1998, pp. 3676-3722.
- NT.LB.22 (2009). Análise Granulométrica. Método de Peneiração. Instituto Hidrográfico.
- NT.LB.23 (2010). Análise Granulométrica. Método de Difração Laser. Instituto Hidrográfico.
- NT.LB.26 (2010). Determinação de Carbono Orgânico Total – Espectrometria de Absorção de IV em sedimentos. Instituto Hidrográfico.
- NT.LB.29 (2010). Determinação de Carbono Inorgânico Total – Espectrometria de Absorção de IV em sedimentos. Instituto Hidrográfico.
- Oliveira, A. (2010). Programa de período experimental de Anabela T. Campos Oliveira. REL.TF.GM 02/10. Instituto Hidrográfico, 65p.
- Rodrigues, A., (2003). Tecto-Estratigrafia da plataforma continental setentrional portuguesa. Tese de Doutoramento. Docs. Técnicos do Instituto Hidrográfico, n.º35, 227p.

## Sedimentological and physico-chemical characterization of intertidal zones in the Arade Estuary (Southern Portugal)

A. Gomes<sup>(1)</sup>, T. Boski<sup>(1)</sup>, D. Moura<sup>(1)</sup>, K. Szkornik<sup>(2)</sup>, A. Witkowski<sup>(3)</sup>, S. Connor<sup>(1,4)</sup>, J. Jacob<sup>(1)</sup>,  
S. Gabriel<sup>(1)</sup>, J. Horta<sup>(1)</sup> and S. Camacho<sup>(1)</sup>

(1) Centre for Marine and Environmental Research (CIMA), Algarve University. aigomes@ualg.pt

(2) School of Physical and Geographical Sciences, Keele University, Keele, Staffordshire, ST5 5BG, UK.

(3) Institute of Marine Sciences, University of Szczecin, Mickiewicza 18, 70-383 Szczecin, Poland.

(4) School of Geography and Environmental Science, Fac. of Arts, Monash Univ., Clayton VIC-3800, Australia.

**Abstract:** The understanding of the sedimentological and physico-chemical characteristics of intertidal zones is important for defining baselines for studies focused on (i) the ecological distribution of estuarine benthic communities, (ii) estuarine environmental status, and (iii) improvement of paleoenvironmental reconstructions in estuarine systems through the use of modern analogues. In this study, sediment samples were collected along the Arade Estuary for substrate characterization in terms of textural and compositional attributes. Complementarily, salinity and pH measurements of pore water were taken from each sampling point. Moreover, the tidal heights were simultaneously measured in both landward and seaward extremes of the estuary to calculate the inundation time for each sampling point. The inundation time appeared to be the main factor controlling the physico-chemical properties of sediments at each sampling point and consequently the composition of benthic communities living therein.

**Key words:** Arade Estuary, flooding time, salinity, pH, sediment texture, sediment organic content

### 1. INTRODUCTION

Estuaries are land-ocean transition zones that exhibit strong physico-chemical gradients arising from tidal mixing of fluvial discharge with sea water. The estuarine intertidal zones are characterized by continuously oscillating physico-chemical conditions (Fujii, 2007) that create highly diverse habitats hosting several groups of organisms, including diatoms, foraminifera, gastropods, bivalves, epibenthic crustaceans, fishes, shorebirds and plants. As such, estuarine intertidal zones have a high scientific, ecologic and economical value.

Most of the studies made on the estuarine intertidal zones are focused on a single or a group of organisms (e.g. Gomes *et al.*, 2013), sedimentary transport (e.g. Lobo *et al.*, 2004), river water salinity gradients (e.g. Pinto, 2003), heavy metal pollution (e.g. Delgado *et al.*, 2010) or even eutrophication (e.g. Rocha *et al.*, 2002). These studies tend to overlook baseline information on intertidal zones that is important for understanding the distribution of estuarine benthic communities, essential to the assessment of the estuarine environmental status and to improve the paleoenvironmental reconstructions in estuarine systems. The present study brings further contribution to the sedimentological and physico-chemical characterization of estuarine intertidal zones.

### 2. STUDY AREA

The Arade River is the second main river of the Algarve southern coast (Portugal). It descends from Serra do Caldeirão and flows 75 km to Portimão, having a drainage basin of 966 km<sup>2</sup> (SNIRH, 1995-2013). It is under the influence of a Thermo-Mediterranean climate, characterized by moderate, humid winters and hot, dry summers. The freshwater flow is greater during the winter and relatively low during summer. However, its freshwater flow is regulated by two dams on the Arade River: Arade and Funcho. The Arade Estuary is *c.* 15 km long and reaches the city of Silves (Figure 1).

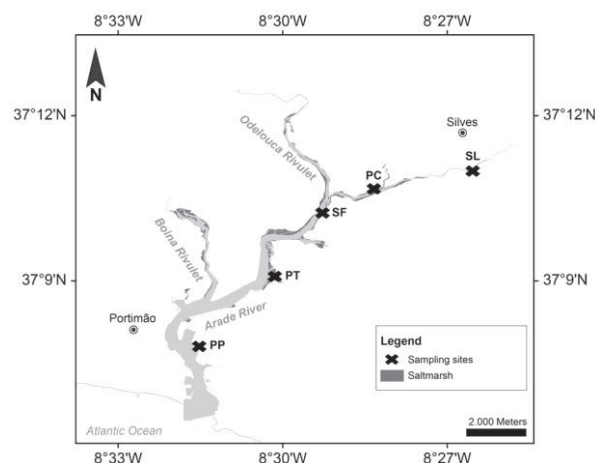


Fig. 1. Map of the sampling transect locations along the Arade Estuary (see text for explanation).



In its upper reaches, the Arade river crosses Carboniferous schists and greywackes and in the lower course it passes through the Triassic sandstones, Jurassic limestones and Miocene biocalcarenites of the Lagos-Portimão Formation, capped by Plio-Pleistocene red sands. Holocene sediments have mostly accumulated in the terminal 8 km of the estuary. It experiences a semi-diurnal mesotidal regime with mean tidal amplitude of 2 m.

### 3. METHODS

In 2010, surficial sediment samples (top 0.5 cm) were collected in five sampling transects (PP, PT, SF, PC, SL; Figure 1) set across the intertidal zone, and embracing almost entire salinity gradient of the Arade Estuary. All the 37 sampling points were georeferenced by means of Differential Global Positioning System (DGPS) instrument.

To characterize the sediment samples, sub-samples were cleaned from the organic content with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. After the removal of the H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, the sub-samples comprising fine and coarse fractions were washed and separated by sieving. The texture was determined using a particle-size analyzer 'Malvern Mastersizer' in the fine fraction interval (0.3–300 µm) and by dry sieving of coarse fraction (> 300 µm). Results were integrated with the GRADISTAT program, version 8.0 (Blott and Pye, 2001). To determine the organic content (total carbon, organic carbon, inorganic carbon, nitrogen, C/N and sulfur), sediment sub-samples (20 mg) were analyzed by means of Carlo Erba EA1108 – ELEMENTAL ANALYZER.

The salinity and pH of the pore water at each sampling point were measured in the four seasons of the year. Salinity measurements were made with a multi-parametric probe Ysi 556 MPS and the pH measurements were made with a portable probe *spear* model, from EUTECH.

Inundation times for each sampling point were calculated using the formula in Gehrels *et al.* (2001). These calculations were corrected with the tidal heights for each sampling transect, translating the effect of the distance to the river mouth and accounting for the effects of bathymetry, basin configuration, river flow and bottom roughness on tidal propagation (Pinto, 2003; Arora and Bhaskaran, 2012). Tidal heights were determined simultaneously (at 20-minute sampling intervals) at both the landward (SL sampling site) and seaward (PP sampling site) extremes of the estuary, with a DGPS instrument during a full tidal cycle. The mean value of the subtraction of the tidal heights (in the flood and ebb tides) between SL and PP was then used to create linear regressions of inundation time in function of the distance from the river mouth. This allowed correction of the tidal heights for the intermediate sampling sites.

### 4. RESULTS

The salinity varies in average between 29 g/kg at PP site and 6 g/kg at SL site (Figures 1 and 2). Along the sampling transects, salinity of pore water varies with the elevation of the sampling points. It presents higher values in the samples collected in the salt marsh (26–36 g/kg) compared to the samples collected on the mud flats (4–34 g/kg) (Figure 2).

Regarding pH, it does not vary significantly along the main axis of the estuary. However, along the intertidal gradient, it presents lower values in the salt marsh samples (6.8–7.2) than the mud flat (7.2–7.7) or sand flat samples (7.4–7.9). Thus, pH has an inverse relationship with salinity (Figure 2).

The inundation time (Figure 2), calculated from the sampling point's elevation, have an inverse relationship with elevation, with higher values on the mud flats of PT, SF and PC (39–86 %) than at the salt marshes of the same sites (10–39 %). The distance to the mouth of the river has almost no influence upon the inundation times. Therefore, the relationship between inundation time and the elevation of the sampling points is primarily responsible for the inverse relationship between inundation time and salinity.

The texture of sediment samples (Figure 2) from PP transect (closest to the mouth of the river) are essentially composed of sand (83–94 %, regardless the elevation). The remaining samples are essentially composed of sandy silts and silts (ranging between 36 and 87 % of silt). The percentage of silt is inversely correlated with the inundation time.

As chemical parameters concerned, Figure 2 indicates that organic carbon presents higher values (2–7 %) at the sampling points at the highest zones in relation to mean sea level (salt marsh). This is explained by the presence of the halophyte vegetation. Since halophyte vegetation, inundation time and pH are directly related to the elevation of the sampling points, the organic carbon correlates inversely with inundation time and pH. Similarly, nitrogen and sulfur reach their highest percentages in the salt marsh samples (nitrogen: 0.4–0.9 %, sulfur: 0.1–0.7 %; Figure 2). The highest values of inorganic carbon (5–93 %) were obtained in samples from the PP transect (the closest to the mouth of the river, Figure 1), which has a sand flat inhabited by bivalves and gastropods and where sediment contains bioclasts. At the remaining sampling sites, in general, the percentage of inorganic carbon is higher (0.8–2 %) in the salt marsh samples. C/N ratios indicate that the organic matter originates mostly from algae (0.2–9), except in samples AS2 and AS33, where the organic matter originates from a mixture of algae and vascular plants (10–16).

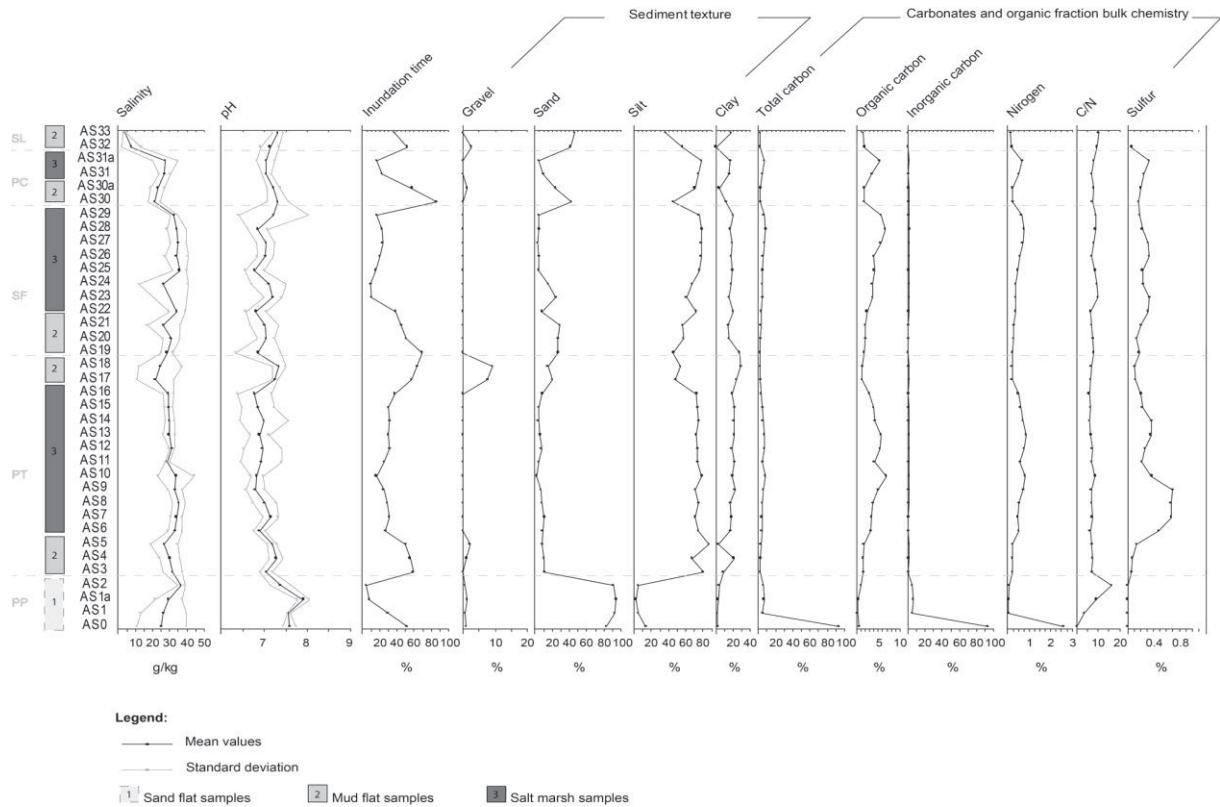


Fig.2. Sedimentological and physico-chemical parameters in sediment samples from the intertidal zones of the Arade River Estuary, arranged from the river mouth (bottom) to the upper estuary (top). PP, PT, SF, PC and SL = sampling transects (Figure 1). AS0-AS33 = sampling points; sand flat samples are located between 0 and 1.3 m of elevation in relation to the mean sea level; mud flat samples are located between -0.9 and 0.6 m of elevation; salt marsh samples are located between 0.5 and 1.2 m of elevation.

## 5. DISCUSSION

The salinity values observed along the Arade Estuary show that it is quite influenced by tidal propagation and little influenced by river flow up to the SL sampling transect (Figures 1 and 2). In fact, according to the information available from the National Information System for Water Resources (SNIRH, 1995–2013, hydrometric station 30G/02A), the surface and bottom discharges from the Arade Dam were rare during the year in which this study was conducted (2010), being responsible for a mean river flow rate equal to  $9.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  between January and March and nil discharge during the remaining months of the year.

Measurements of pore water salinities indicated that salt marshes zones, because they are located at a higher elevation in relation to mean sea level, are subject to a more prolonged evaporation and due to the salt precipitation exhibit higher salinity of pore water than the mudflats situated at lower elevation (Figure 2).

Sediment texture along the river and the intertidal zone relates to the local hydrodynamics, which are dictated by the energy of the river flow and tidal currents. Thus, the dominance of flood currents, which transport the marine sediments to the river, is responsible for the sandy texture of the samples on the PP transect (Dronkers, 1986). In the salt marshes

of the PT, SF and PC sampling sites, silty sediments accumulate due to the lower inundation time and the presence of vascular plants, which retard the tidal current, allowing silt particles transported in suspension by the river water to be deposited by decantation (Figure 2). These silty sediments are more cohesive, working as traps for organic matter from the salt marsh vegetation and especially from algae (according to the C/N values, Figure 2). The greater exposure of salt marshes to atmospheric oxygen favors the decomposition of organic matter, causing a decrease in the pH of the interstitial water, due to the formation of humic acids (Suguio, 2003; Figure 2).

Regarding inorganic carbon percentages, the high values at the PP sampling transect (Figure 2) are explained by the presence of bivalves and gastropods, as well as bioclasts that are probably transported by the flood currents that are dominant in this estuarine area. Along the remaining sampling transects, further from the river mouth, the higher inorganic carbon percentages generally observed in salt marsh samples (Figure 2) are due to the presence of gastropods (Camacho et al., 2013).

Thus, tidal inundation time was shown to be a major parameter controlling the sedimentological and chemical properties in the intertidal zones of the Arade Estuary, as well as the distribution of salt

marsh vegetation and the benthic communities living therein (Gehrels *et al.*, 2001).

## 6. CONCLUSION

In the Arade Estuary's intertidal zones, variations in the analyzed sedimentological and physico-chemical parameters revealed that they are closely related with distance to the river mouth, hydrodynamics and especially with the elevation of the sampling points, i.e. the duration of tidal inundation.

Salinity, which varies inversely with the distance to the river mouth, showed that the Arade Estuary is quite influenced by tidal propagation and little influenced by river flow until ca. 15 km from the mouth.

In the studied estuary, the samples' sand content quickly decreases with the distance to the river mouth and indicates the marine source of the coarse fraction. In the salt marsh zones, the inundation time and the presence of vascular plants promote the deposition of silty sediments. These sediments trap the organic matter that decomposes rapidly, leading to a decrease in pH.

Inorganic carbon content is influenced by the proximity of the river mouth and the presence of bivalves and gastropods.

## Acknowledgements

This research was supported by the scholarship SFRH/BD/62405/2009 from the Sciences and Technologies Foundation—FCT (Portugal).

## REFERENCES

- Arora, C. and Bhaskaran, P. (2012). Parameterization of bottom friction under combined wave-tide action in the Hooghly estuary, India. *Ocean Engineering*, 43, 43–55.
- Blott, S.J. and Pye, K. (2001). GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms and Landscapes*, 26, 1237–1248.
- Camacho, S., Moura, D., Connor, S., Boski, T., Gomes, A. (2013). Geochemical characteristics of sediments along the margins of an atlantic-mediterranean estuary (the Guadiana, Southeast Portugal): spatial and seasonal variations. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 14(1), 129–148.
- Delgado, J., Nieto, J.M., Boski, T. (2010). Analysis of the spatial variation of heavy metals in the Guadiana Estuary sediments (SW Iberian Peninsula) based on GIS-mapping techniques. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 88, 71–83.
- Dronkers, J. (1986). Tidal asymmetry and estuarine morphology. *Netherlands Journal of Sea Research*, 20, 117–131.
- Fujii, T. (2007). Spatial patterns of benthic macrofauna in relation to environmental variables in an intertidal habitat in the Humber estuary, UK: Developing a tool for estuarine shoreline management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 75, 101–119.
- Gehrels, W.R., Roe, H.M., Charman D.J. (2001). Foraminifera, testate amoebae and diatoms as sea-level indicators in UK saltmarshes: a quantitative multiproxy approach. *Journal of Quaternary Science*, 16, 201–220.
- Gomes, A., Witkowski, A., Dąbek, P., Boski, T., Moura, D., Szkornik, K., Kurzydłowski, K. (2013). *Syvetsenia iberica* (Cymatosiraceae): a new estuarine diatom genus characterized by the position of its process. *Phytotaxa*, 142 (1), 25–36.
- Lobo, F.J., Plaza, F., González, R., Dias, J.M.A., Kapsimalis, V., Mendes, I., Díaz del Río, V. (2004). Estimations of bedload sediment transport in the Guadiana Estuary (SW Iberia Peninsula) during low river discharge periods. *Journal of Coastal Research SI*, 41, 12–26.
- Pinto, L. (2003). *Estratificação salina no Estuário do Guadiana*. Master Thesis, University of Lisbon. 157 pp.
- Rocha, C., Galvão, H., Barbosa, A. (2002). Role of transient silicon limitation in the development of cyanobacteria blooms in the Guadiana estuary, south-western Iberia. *Marine Ecology Progress Series*, 228, 35–45.
- SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (1995-2013). On-line available: <http://snirh.pt/>
- Suguio, K. (2003). *Geologia Sedimentar*. Editora Blucher. 400 pp.



## Evidences of sediment bypassing at Nazaré headland revealed by a large scale sand tracer experiment

J. Duarte<sup>(1)</sup>, R. Taborda<sup>(2)</sup>, M. Ribeiro<sup>(1,2)</sup>, J. Cascalho<sup>(2,3)</sup>, A. Silva<sup>(2)</sup> and I. Bosnic<sup>(2)</sup>

- (1) Instituto Hidrográfico, 1249-043 Lisboa, joao.duarte@hidrografico.pt  
 (2) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa,  
 (3) Museu Nacional de História Natural e da Ciência, Universidade de Lisboa, 1250-102 Lisboa  
 (4) Centro de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa

**Abstract:** The Norte beach is the southern downdrift end of a 150 km long sedimentary cell located between Espinho and Nazaré, providing sediment to the Nazaré canyon head at a mean rate of approximately  $10^6 \text{ m}^3$  per year. In order to understand the sediment transport patterns on the canyon head rim and adjacent beach system, a large scale fluorescent tracer experiment was performed with 10 tons of native sediment, coated with orange fluorescent ink. The tracer was continuously injected throughout 5 hours at a point located 600 m updrift of Nazaré headland and collected every 10 minutes at 50 m spaced positions. During the experiment, tracer movement showed an active southward transport. After 24 hours fluorescent grains were detected downdrift of Nazaré headland, demonstrating headland bypassing. This process explains the source of sediment that nourishes the multi-point sediment capture system observed at the Nazaré canyon head.

**Key words:** sediment tracer, headland bypassing, Nazaré canyon, grain fluorescence

### 1. INTRODUCTION

The Norte beach constitutes the last 1 km southern end of a 150 km long sandy coastal stretch between Espinho and Nazaré. This coastal cell has a NNE-SSW orientation and is exposed to a high energetic wave regime approaching from NW direction. This wave forcing induces a southward longshore of about  $10^6 \text{ m}^3 / \text{year}$ . The Nazaré canyon head is the downdrift end of this littoral cell capturing all the sediment that reaches the Norte beach (Fig. 1). A system of multi thalweg branches distributed inside the canyon head show extended influence up to the limits of the submerged beach, representing the geomorphological evidence of the capture set up. Sediment waves concentrated on each thalweg branch axis are symptomatic of regular downcanyon coarse sediment transport. The majority of the capture points can be observed inside the Nazaré bay, with the exception of one thalweg branch with the greater morphological expression located offshore of the Nazaré headland (Guilhim stack) aligned with the Norte beach submerged segment. The existence of those multi canyon capture spots inside Nazaré bay combined with an identifiable sediment source from the Norte beach, poses the question: what is the magnitude of sediment bypassing from North beach to Nazaré Bay in order to sustain a sediment supply capable of maintaining multi-thalweg capturing system?

To address this question a large scale tracer experiment on the Norte beach was designed to measure the southward longshore drift sediment

transport rate and evaluate the headland bypassing hypothesis.

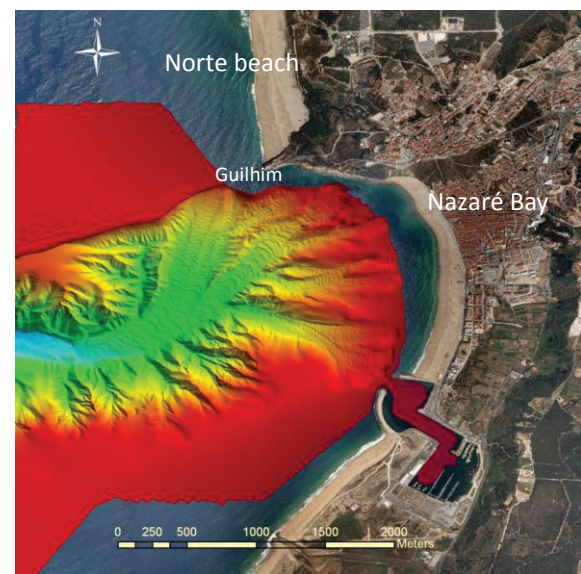


Fig. 1. Norte beach and Nazaré canyon head capture system Kongberg EM 710 combined with EM3000 multibeam hydrographic survey (Imagery Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community).

### 2. TRACER EXPERIMENT

#### 2.1. Objectives

The main objectives of the experiment were: (i) measure the sediment transport rate induced by the southward drift current, (ii) understand headland bypassing processes from Norte beach into Nazaré



Bay and (iii) evaluate transport rate gradients and sediment sorting occurrence on the bypassing process.

## 2.2. Methodological approach

Tracing tagged natural sediment particles with fluorescent ink is a recognized technique to measure the sediment transport rate and define pathways on active sedimentary environments as beaches, harbours and estuaries. The particles are commonly obtained previously from the studied area with the purpose to obtain tracer grains close to the physical natural attributes, namely grain size, shape and density, in order to mimic their hydraulic behaviour during the experiment. The fluorescent tagging of the particles combined with UV light illumination is the physical detection principle to measure the trace concentration as it dilutes on the system through the transport process.

The Norte beach creates significant practical constraints on applying the sediment tracer technique due to the high energy wave regime, which induces a strong and fast displacement of the coastline position (Silva et al, 2013). These characteristics make it difficult to monitor the tracer concentrations across the beach, mainly throughout the breaking zone. For this reason, continuous inject method (CIM) was chosen instead the most popular spatial integration (SIM) and time integration (TIM) methods. The CIM, a variant of time integration method, is an Eulerian method, and is carried out by measuring the tracer concentration as the trace is continuously injected on a fixed point through time at a constant rate (Duane, D. & James W., 1980). The advantages of CIM, comparatively to the TIM and SIM, are: 1) tracer sampling can be accomplished at relatively few fixed points and there is no need to monitor the entire spatial extension of a dispersing tracer cloud; 2) problems associated with growing dilution of tracer are not a factor because, theoretically, in steady state conditions, tracer concentration will increase (until attaining a constant value) throughout the experiment; 3) it is not necessary to control the thickness and the width of the transport system, since demonstration of lateral steadiness on the equilibrium concentration across the bed within the system is sufficient to validate the experimental results; and 4) once these experiments are shorter in time, the risk of transport condition changes is reduced.

In general, all the methods are based on the assumptions that the tracer behaves as the native sediment, the advection transport process dominates over the diffusion and dispersion, there are no sediment sinks or sources on the system and the transport conditions are constant in space and time (Madsen, 1987). Since the space integration time and time integration methods (SIM and TIM, respectively) require monitoring of the entire tracer

cloud, carrying out laborious sampling of the mixture layer all across the beach down to the wave breaking zone is unavoidable. In high energetic beaches this can be quite unfeasible or at least dangerous for the campaign participants to achieve such task. In the case of the CIM approach only the following conditions must be observed: (i) unchanging forcing mechanisms through time and space on the breaking and swash zone (wave high, period and direction) and (ii) stable rectilinear coastline in order to maintain a constant wave angle. Although there is no need to determine the thickness and width of the moving layer, the stabilization of the tracer concentration over time and through the sampling points must be obtained. Samples can be taken on the superficial moving layer (aprox. 1 cm) located on the transition between the break and swash zone.

## 2.3. Experiment groundwork

The tracer experiment was designed to have injection duration of approximately 5 hours in order to ensure the steadiness of forcing conditions. Simultaneously, the injection rate was calculated for a beach scenario that could combine a probable headland bypassing state and a linear regular coastline path in order to obtain consistent wave forcing along the area of the experiment. Most likely headland bypassing conditions are related to the maximum Norte beach sand infilling, a state where the sandy beach extends to the Guilhim stack (Fig. 2).

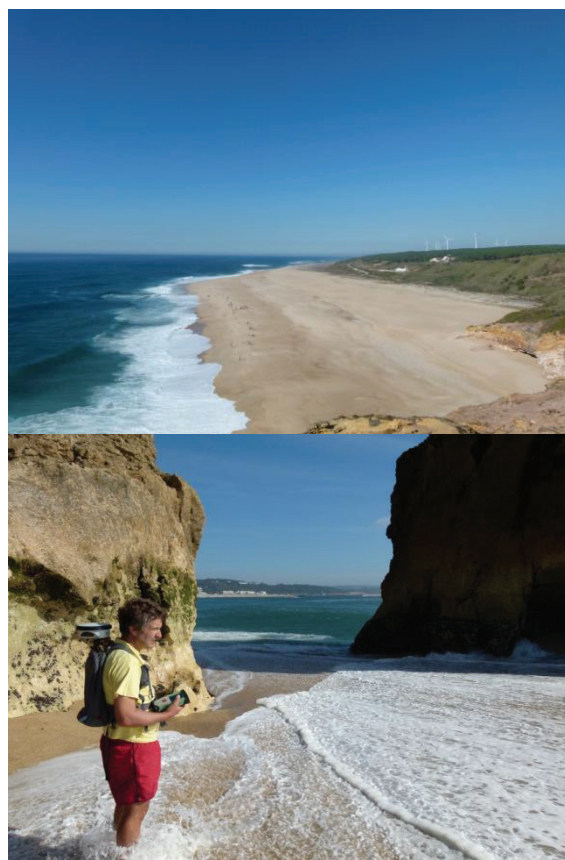


Fig. 2. (top) Norte beach summer scenario showing a straight

coastline and a high infilling level; (bottom) Norte beach extending up to Guilhim stack.

Those conditions are generally met at the end of the summer (Silva, et al. 2013), whereas the significant wave height ranges between 1 to 2 m, with a period of approximately of 12 s approaching from the NW direction. Considering the aforesaid wave conditions and a tracer dilution that would assure detection, a value of 10 T of tracer was the best practical compromise achieved.

The experiment comprised the following steps:

- Collection of 13.7 T of native sand on a location as close to the predicted injection point using a heavy duty 4X4 excavator; the sand was packed in big-bags with 750kg to 1100kg each, weighted with a 6T scale dynamometer (Fig. 3). A minimum of 20% margin was considered, in order to encompass any interstitial water and assure the minimum final weight of 10 T after drying.



Fig. 3. Native sand collection and weighting during the winter on a spot near the predicted injection point

- Washing the sand inside the big-bags with fresh water using standard water garden hoses.

- Sand drying inside a 30 m by 12 m warehouse, by covering its cemented pavement with a 10 cm thick sand layer for 4 weeks (hot and dry weather summer conditions).

- Fluorescent ink coating of 10 T of dried sand using two concrete mixers with 150 kg capacity each. The ink that have proved to have a reliable performance on sand coating is an Atomlac® fluorescent orange lacquer previously diluted with 60% of toluene based diluent. Using an average proportion of 27/1 between the sand and diluted lacquer, batches of 100 to 120 kg where weighted for each concrete mixer. Each sand batch was introduced first into the concrete mixer and the diluted ink was added afterwards progressively until complete mixing was achieved. The drying process occurred with the mixer in constant movement.

- Dosage gathering: an amount of 630 PVC bags with an average weight of 16 kg each where produced (total of 10080Kg). The individual bags were designed to be easily dumped by hand in

regular intervals on the longshore drift during the entire experiment.

#### 2.4. Field experiment

The experiment took place between the 9th and 15th of September 2013, with the injection procedure occurring on the 12<sup>th</sup> (Beach to Canyon, 2013). The Norte beach presented ideal synoptic and morphological conditions as described above. Moreover, a new ephemeral beach was recently formed in connection with the Nazaré headland inside the bay, the Prainha beach. This beach usually appears after the Norte beach reaches its full capacity and the wave regime is low enough to preserve sand accumulation on that location (Fig. 4).



Fig. 4. Prainha beach formed at the end of 2013 summer on the 13<sup>th</sup> of September.

The design of the experiment plan was devised in accordance with all the conditions observed above (Fig 5.)



Fig. 5. Tracer experiment plan: B2C\_AI – Sediment image analysis; B2C\_CET(-50 to 600m) – reference stakes in top of the second beach berm; B2C\_CETam - sediment samples of the breaker/swash zone collected each 10 minutes; CET 0 – injection point; B2C\_GM – Spotted residual gravel marked located on the top of the swash zone; B2C\_Plac – inner shelf samples.

A grid of 13 sampling locations was marked with fixed stakes at the top of the berm crest, with a spacing of 50 m. Taking the injection point as the 0 m reference, the grid was defined between -50 m



updrift (north) up to the 600 m distance downdrift (south). An additional sampling point at Prainha beach was considered. All of the 630 bags (with an average weight of 16 kg) were injected at a rate of one per 30 seconds, during 5h 15 min, beginning at 12:00 h (Fig. 6). A team of 15 people at the injection point and 28 collectors were needed to accomplish this task.

One sample of the superficial moving layer at the base of the swash zone was taken each 10 minutes on every sampling spots between 12:00 and 18:00, making a total of 506 samples on the first day. At the same time, sampling of the inner shelf and at the Nazaré canyon head was taken place on 5 stations located in front of the study area, between 6 and 65 m depth, by a coastal research boat using a Smith McIntyre grab (Fig. 7). On the dawn of the 13<sup>th</sup> of September sediment sampling was repeated in three points in all off the 14 sample locations, covering the swash zone from the base to the top. The experiment ended in the 15<sup>th</sup> of September, with a collection of a total 634 samples.



Fig. 6. Injection procedure; (top) injection team ready to carry the tracer 16 kg shots at 30 s interval; (bottom) tracer dumping in the base of the swash zone. This operation lasted 5h and 15 minutes.

Oceanographic and morphodynamic measurements were accomplished by a set of instrumental techniques such as: two ADCP deployed in front of Norte beach and Guilhim stack; three Mobotix® video-monitoring systems on the Nazaré headland; and four DGPS used for topographic survey and sample georeferencing. The longshore drift current

was measured by drogues, including oranges and GPS referenced floaters launched by jet skis.

### 3. PRELIMINARY RESULTS

Fluorescent grain detection using a digital camera coupled to the SAND BOX© (Bosnic *et al.*, 2012) with UV lights to detected the tracer, show the presence of significant amount of grains at the 600 m position after 12 hours. The injection point and the -50 m reveal total inexistence of fluorescent grains, putting on evidence the southward persistence of the littoral drift. After 48 hours tagged grains were detected at Prainha beach, showing an increasing in concentration on the subsequent days. This unequivocal presence of fluorescent grains inside the bay from a source 600 m north of the headland demonstrates clearly the existence of headland bypassing process. This process is the combination of the supplying mechanism originated by the southward longshore drift and the beach overwash event between Nazaré headland and Guilhim.

### Acknowledgements

This work was supported by the project Beach to Canyon Head Sedimentary Processes funded by FCT (PTDC/MAR/114674/2009). The authors wish to thank Capitania do Porto da Nazaré, researchers and students from the Faculty of Sciences of the Lisbon University – Geology Department, Nazaré Municipality, Instituto de Socorros a Náufragos and Direccção-Geral da Autoridade Marítima for the key participation on the field experiment operations.

### REFERENCES

- Beach to Canyon (2013). Relatório de campo n.º 6, available at [http://beachtocanyon.fc.ul.pt/Fieldwork/FieldReport\\_VI.pdf](http://beachtocanyon.fc.ul.pt/Fieldwork/FieldReport_VI.pdf)
- Bosnic, I., Sousa, H., Cascalho, J., Taborda, R., Ribeiro, M. and Lira, C. (2012). New insights into image analysis applied to beach grain-size variability. *2<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa*, 275-278.
- Duane, D. & James, W. (1980). Littoral Transport in The Surf Zones Elucidated By an Eulerian Sediment Tracer Experiment. *Journal of Sedimentary Petrology*, No.3 Vol. 50.
- Esri basemap (2011-03-18). Imagery Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community).
- Madsen, O. (1987). Use of tracers in sediment transport studies. *Proceedings of Coastal Sediments*, No. 87, ASCE, pp. 424-435
- Silva, A., Taborda, R., Antunes, C., Catalão, J. e Duarte, J. (2013). Understanding the coastal variability at Norte beach, Portugal. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No 65.

# Assessing beach morphodynamics through close-range photo-monitoring

M. Carapuço<sup>(1)</sup>, M. Ribeiro<sup>(1,2)</sup> and R. Taborda<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa. mmcarapuco@fc.ul.pt

(2) Instituto Hidrográfico. Portugal.

**Abstract:** The time scale of beach morphological response to meteorological and oceanographic forcing ranges from almost instantaneous to long-term. The understanding of this behavior should be therefore supported on efficient monitoring methods that can cover those wide ranges of scales. In this study, photographs taken with a standard compact camera and processed using simple photogrammetric techniques (rectification and photogrammetric restitution) were used to quantify beach profile changes and dune retreat. Moreover, the information portrayed by the image conveys additionally information useful to understand and evaluate major morphodynamic drivers (such as incident wave characteristics), mass movement events and coastal infrastructures damages. Results shows that this simple and easy to implement approach can be used either in characterization of the impacts due to short-term events, such as storms, as well as to support long-term monitoring programs supported in a set of coastal indicators.

**Key words:** photogrammetry, monitoring, coastal features, indicators.

## 1. INTRODUCTION

One key element for integrated coastal zone management is a correct understanding of the coastal zone evolution; however, the permanent evaluation of morphological changes of a coast is a non-trivial task, due to the complex and intrinsically non-steady nature of the processes (Taborda and Silva, 2012). Beaches, in particular, are one of the most mutable environments in the world. Therefore, beach monitoring - the continuous or periodic process of collecting and analyzing data to measure the dynamic of the beach - should be seem as an integral and continuing part of coastal management agenda, since it provides to managers regular feedback on implementation and progress towards the attainment of environmental objectives. Effective monitoring requires baseline data, as well as diagnostic indicators and related measurements, regular reporting, and a feedback mechanism for management decision-making (UNESCO, 2006).

Aerial (far-range) photogrammetry - the practice of determining the geometric properties of objects from aerial photographic images - is one of the methods traditionally used by geomorphologists and earth scientists to establish reference scenarios and to quantify morphological change through the extraction of coastal indicators (e.g., shoreline position, dune configuration, barrier width). However, and despite the excellent spatial coverage, it presents logistic, cost and weather constraints, which limits the temporal coverage.

A more adaptable and project-orientated approach is close-range (terrestrial) photogrammetry. This method is easier to implement and allows a better match between the time and spatial scales of system variability and monitoring frequency. In fact, close-range photo-monitoring has already being included

in a coastal monitoring program: *The Coastal Photo Monitoring Project* (Perth Region NMR, 2013). This project, based on the systematic acquisition of photographs since July 2006, aims to provide a visual/qualitative record of change to selected priority sites within the Southern Perth Metropolitan coastal zone. However, and despite the obvious relevance of this approach, it only supports a qualitative perspective of the system. Benefiting from this experience, the present work aims to demonstrate the potential of close-range photogrammetry in the quantification of the evolution of beach features. The methods presented herein focus on image acquisition using standard compact cameras and are oriented to simple feature extraction procedures, thus aiming to support their widespread application.

## 2. METHODS

The workflow adopted follows a simple approach that includes: camera calibration, image acquisition, image processing and features extraction, and validation. All the images used in this study were acquired with a Pentax WG-3 GPS compact camera.

### 2.1. Camera calibration

In order to support images taken by standard compact cameras, that can generate strong image distortions, calibration procedure can be regard as a mandatory step. In this work, camera's focal length, lens distortion, format aspect ratio, and principal point were computed using specific routines to attend to the requirements of the used image processing software: Rectify Extreme (Taborda and Silva, 2012) and PhotoModeler Scanner<sup>®</sup> 2013. For the use of Rectify Extreme, calibration parameters were computed using the camera calibration toolbox for Matlab<sup>®</sup> of Bouguet (2010). For the use of PhotoModeler Scanner<sup>®</sup> 2013, calibration



parameters were computed using the camera calibration application for this specific software. In both calibration procedures, the lens focus was setup to infinity mode and fixed zoom.

### 2.1. Image acquisition

Image acquisition should be performed in locations with the proper overview of the beach that assure a good perspective of the target object, which can be a particular feature or the entire beach itself. Usually, a high place with good access would be the best option. During image acquisition procedure it is important that the settings of the camera are the same used in the calibration procedure. The strategy adopted concerning the number and range of the images to acquire will depend of the chosen coastal indicator to characterized beach morphodynamics (Carapuço *et al.*, 2014). While some indicators needs 3-dimension information for their extraction (e.g., beach profile volume, berm level, run-up level) which implies a set (at least two) of photographs with a certain level of overlap, others indicators can relied on the extraction of 2-dimension (planimetric) features (e.g. coastline position, berm width and due toe position) and thus their extraction can be supported in a single image.

In the present work, photogrammetric techniques were used to measure morphological beach response to a set of severe storms that hit the Portuguese coast in 2014 winter. For this purpose, two target sites were chosen: Lizandro beach (Ericeira, Portugal) in order to measure the evolution of an erosional scarp at the base of the foredune (Fig. 1 and Fig. 2) and Grande beach (Sintra, Portugal) aiming to evaluate profile changes (Fig. 3).

At Lizandro beach, the erosional scarp evolution was based on a single image taken at 7<sup>th</sup> January 2014, 13<sup>th</sup> February 2014, 6<sup>th</sup> March 2014 and 4<sup>th</sup> April 2014.

At Grande beach, beach profile extraction was based in a set of three convergent photographs were taken in 10<sup>th</sup> April 2014 targeting the northern part of beach area. In this latter case, it was used a tripod and the timer function (2 seconds) to assure camera stability during image acquisition.

### 2.2. Image processing and features extraction

Image processing routines were selected attending to the specific objectives of the study at each site. In this study, the techniques used were image rectification and photogrammetric restitution preceded by image correction. Image rectification aims to transform oblique images into vertically equivalent images (rectified images) and image restitution aims to transform the perspective between the image (2-dimensions) and the target-feature space coordinates (3-dimensions) given the corresponding target-feature image coordinates on two or more photographs.

To monitor the evolution of the erosional scarp at Lizandro beach, the dune toe and dune crest positions were identify and drew in the oblique photographs (Fig. 1). Afterwards, the images were rectified in the program Rectify Extreme (Taborda and Silva, 2012) using at least four ground control points (GCPs) in each image, that were measured by GPS-RTK equipment (*global positioning system in real time kinematic mode*) around the site for this specific purpose. Each image was individually rectified to two 2-dimensional planes: 3.5 MSL (mean sea level) for the dune toe and 8.0 MSL for the dune crest (Fig. 3). The RMS error obtained in rectification processes (*i.e.*, the root mean square difference between estimated and GCPs) ranged from 3.1 m and 0.9 m, depending on the image quality and GCPs location. In order to undertake dune toe and crest evolution analyses, rectified images were imported into the ArcGis<sup>®</sup> environment.

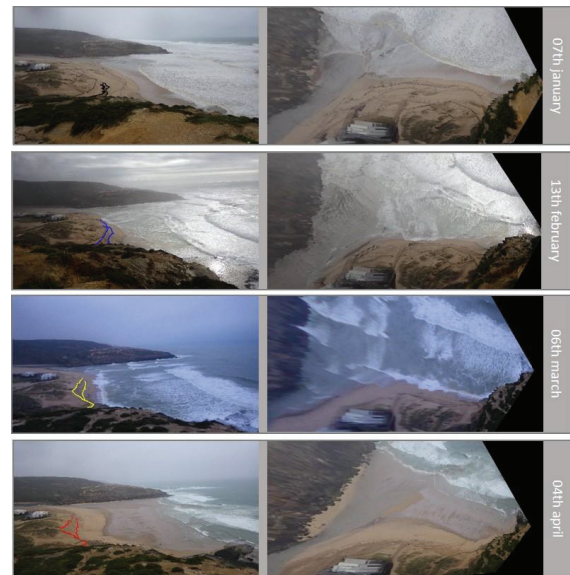


Fig. 1. Lizandro beach: dune toe and dune crest draw in the original photographs and images rectified for the 3.5 MSL plane, for each survey.



Fig. 2. Lizandro beach: erosion scarp formed by erosion (photograph taken in the last field survey - 4<sup>th</sup> April).

Beach profile evolution at Grande beach was measured using photogrammetric restitution. This tasks was done using the PhotoModeler Scanner<sup>®</sup>

2013 application. A standard project was created based in three photographs of the study area. Through manual referencing, in which the user identifies marks on all the considered photographs that refer to the same physical point, external orientation for each photo was computed (Fig. 3). Next, the solution was georeferenced to ETRS89-PTM06 using three GCPs. Beach profile was finally built based on extracted 3-dimension points identified at the beach face.

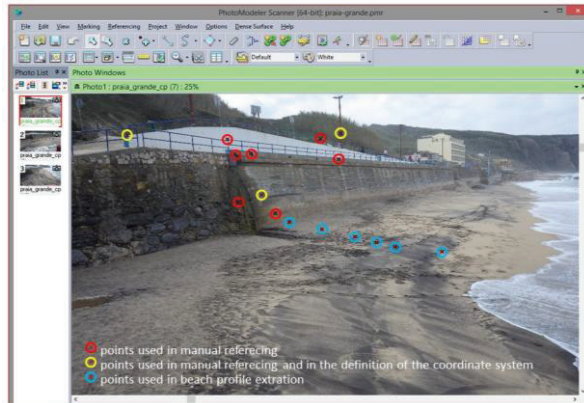


Fig. 3. Grande beach: points used in manual referencing, in the definition of the coordinate system and used in the extraction of the beach profile.

#### 2.4. Validation

The beach features extracted were validated with morphological data acquired by GPS-RTK. At Lizandro beach, the dune toe position was measure in the 4<sup>th</sup> April survey while at Grande beach, beach profile was measure simultaneous to the image acquisition.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 4 presents dune toe and dune crest evolution at Lizandro beach. During the monitoring period, between 7<sup>th</sup> January and 4<sup>th</sup> April, the dune toe position retreat circa of 25 meters and the dune crest position retreat circa of 30 meters. This feature first appear as a consequence of the Christina storm that hit in Portuguese coast in January 2014 (Diogo *et al.*, 2014) and then suffer changes over time due to other storm events that lashed the Portuguese coast during the monitoring interval, mainly in January and February 2014. For this reason, the major retreat identified between two sequential field surveys was between 13<sup>th</sup> February and 6<sup>th</sup> March, with the scarp retreat circa of 23 meters, both at toe and crest level. From validation, it is possible to conclude that the maximum error (i.e. the difference between image extraction and ground surveyed positions) was circa of 4 meters, which is significantly smaller that the magnitude of the erosion signal detected. Thus, this approach is suitable to monitoring the evolution of this erosion scarp as well as other coastal features with similar variation magnitude and that can be described in a 2-dimensions plane.

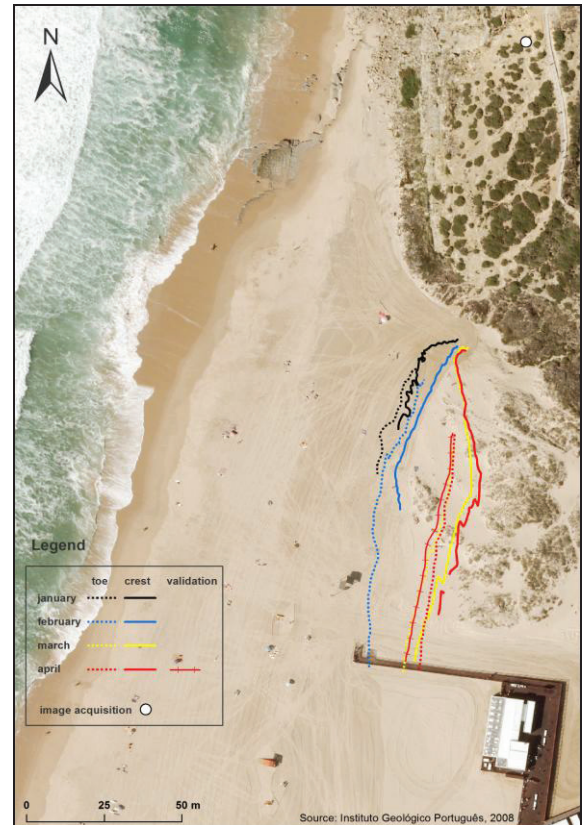


Figure 4. Lizandro beach: dune toe and dune crest positions extract from rectified images, dune toe position measured with GPS-RTK (validation) and images acquisition position.

Figure 5 presents the result of the beach profile extracted through photogrammetric restitution.

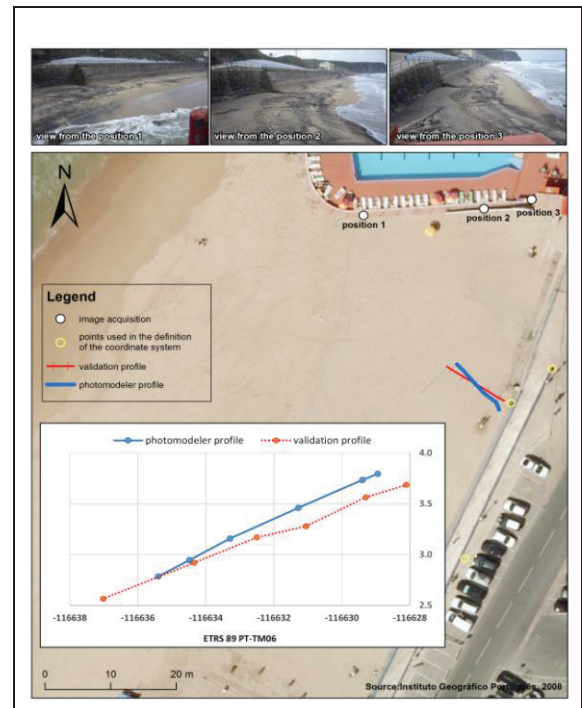


Figure 5. Grande beach: beach profile extracted from photographs acquired in position 1 to 3 (photomodeler profile) and comparison with the beach profile measured with a GPS-RTK (validation). View from the three positions adopted in image acquisition.



#### 4. CONCLUSIONS

This work confirms the applicability of close-range photogrammetry in supporting coastal monitoring: it is an efficient tool in beach data acquisition and in the extraction of coastal features that can be translated in coastal indicators and thus supporting coastal management activities. The simple equipment needed and availability of data processing tools make this method suitable for regular and occasional (e.g. storm events) beach monitoring.

#### Acknowledgements

The first and second authors are supported by PhD grants funded by the Portuguese *Fundação para a Ciência e Tecnologia* – FCT (SFRH/BD/82223/2011 and SFRH/BD/79126/2011). This work was supported by the project Beach to Canyon Head Sedimentary Processes (PTDC/MAR/114674/2009) funded by FCT.

#### REFERENCES

- Bouguet, J.Y. (2010) Camera calibration toolbox for Matlab. Available at: [http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib\\_doc/](http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/) (accessed in April 2014).
- Carapuço, M. M., Taborda, R., Silveira, T.M., Andrade, C., Freitas, M.C. (2014). State of knowledge of coastal geomorphology indicators: a tool to support coastal management. *Geologica acta (submitted)*.
- Diogo, Z., Bastos, A., Lira, C., Taborda, R., Andrade, C., Silveira, T. M., Ribeiro, M., Silva, A., Carapuço, M.M., Pinto, C., Freitas, M.C. (2014). Morphological impacts of Christina storm on the beaches of the central western Portuguese coast. *Proceedings of the IX Congresso Nacional de Geologia (accepted)*.
- Taborda, R. and Silva, A. (2012). COSMOS: A lightweight coastal video monitoring system. *Computers & Geosciences*, 49, 248–255.
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) (2006). *A Handbook for Measuring the Progress and Outcomes of Integrated Coastal and Ocean Management*. IOC Manuals and Guides, 46, ICAM Dossier 2, 217 pp.
- Perth Region NRM (2013). Coastal photo monitoring project. Available at: <http://www.perthregionnrm.com/pr-nrm-programs/coastal/coastcare-projects-and-events/coastal-photo-monitoring-project.aspx> (accessed in April 2014).

## Sediment textural selection during sub-aerial headland bypassing. An example from the Nazaré coastal system (Portugal)

J. Cascalho<sup>(1)</sup>, J. Duarte<sup>(2)</sup>, R. Taborda<sup>(3)</sup>, M. Ribeiro<sup>(2,3)</sup>, A. Silva<sup>(3)</sup>, I. Bosnic<sup>(2,3)</sup>, M. Carapuço<sup>(3)</sup>,  
C. Lira<sup>(3,4)</sup> and A. Rodrigues<sup>(2)</sup>

- (1) Centro de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.  
Museu Nacional de História Natural e da Ciência, Universidade de Lisboa. [jpcascalho@fc.ul.pt](mailto:jpcascalho@fc.ul.pt)
- (2) Instituto Hidrográfico.
- (3) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.
- (4) Centro de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.

**Abstract:** This work aims to characterize and understand the textural selection process related to headland sediment bypassing at three adjacent beaches (Norte, Prainha and Nazaré) located at the west coast of Portugal. To characterize sediment median grain size variability across the study site, 72 samples were collected and photographed with a digital single-lens reflex camera. This procedure generates a set of 261 digital images that were processed using the image autocorrelation method in order to compute the median sediment grain size. Preliminary results show that the Nazaré headland (between Norte beach and Nazaré bay) can act as a filter to the coarser sediment particles transported by the southward longshore drift, during the observed field conditions. The coarser particles (of coarse sand) were often found updrift of the Nazaré headland (at Norte beach), while at the downdrift side (Prainha beach) these particles are scarcer.

**Key words:** littoral, sand, grain-size, selection, transport

### 1. INTRODUCTION

Grain size is the most widely used textural parameter to describe the sedimentary environments and to deduce the sediment transport dynamics (e.g. Folk and Ward, 1957; Mason and Folk, 1958; Friedman, 1961; Visser, 1969; McLaren and Bowles, 1985; Flemming, 1988). Over the last decades the development of the digital photography associated to the enhancement of computer processing capabilities has enabled the development of new techniques to determine several grain size parameters. Of these, the median grain size ( $D_{50}$ ) can be easily determined by image analysis, using the spatial autocorrelation, thus making this technique ideal to characterize a high number of samples (Rubin, 2004; Barnard *et al.*, 2007; Bosnic *et al.*, 2012). The main objective of this work is to characterize the  $D_{50}$  variability of the Nazaré coastal system (Norte-Guilhim-Prainha) and understand the sediment bypassing processes at Nazaré headland. This work, supported on sediment image analysis, is based on data obtained during a large scale fluorescent tracer experiment that took place in this coastal system, during September of 2013 (Duarte *et al.* 2014).

### 2. FIELD SITE

The studied area is located at the Portuguese west coast, near Nazaré village, approximately 120 km north of Lisbon (Fig. 1 e 2). This coastal stretch is fully exposed to the north Atlantic swell and has a semi-diurnal mesotidal regime.



Fig. 1. Nazaré coastal area location (Source: Esri basemap, 2011-03-18).

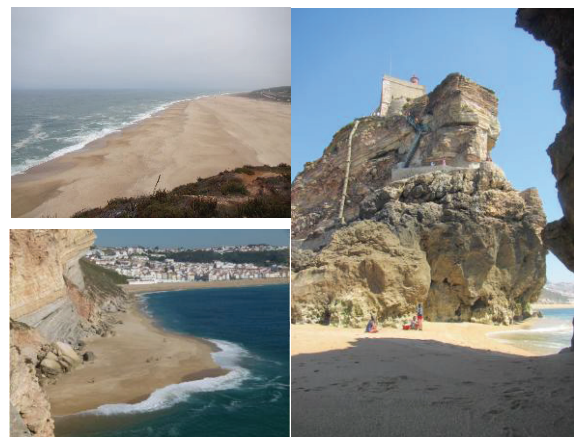


Fig. 2. General view of the studied beaches: Norte (upper left), Guilhim (right) and Prainha (below left).



The field work took place between 11<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> September of 2013. During this period, at lower tide, the Nazaré headland could easily be bypassed by foot (Fig. 3) due to the presence of an ephemeral beach that linked the entire Nazaré coastal system, from Norte to Nazaré beach (Lira and Taborda, 2014), which is a very uncommon phenomenon (Fig. 4).



Fig. 3. Ephemeral beach linking Norte beach with Nazaré beach. Photography taken near Nazaré headland (September, 13<sup>th</sup>, 2013, at 13:27 UTM).

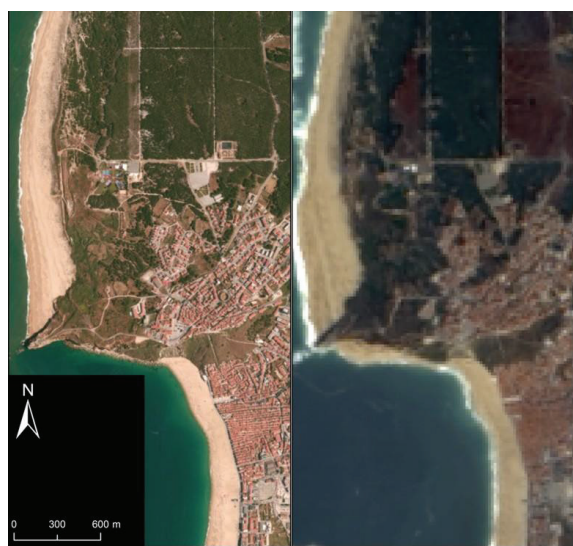


Fig. 4. Ephemeral beach development. Left: no ephemeral beach south of the Nazaré headland (Source: Esri basemap, 2011-03-18). Right: beach development south of the Nazaré headland visible on the Landsat 8 image of 2013-09-24 (extracted from Lira and Taborda, 2014).

### 3. METHODS

This work is based on the digital analysis on images from 72 sediment samples collected from the Norte, Guilhim and Prainha beaches at 28 distinct locations (Fig. 5). All collected samples represent the upper 1 cm (mobile) beach sediment layer. Each sediment sample was sub-sampled three or four times and photographed with a high resolution single-lens reflex Nikon D800 camera. This procedure resulted in the acquisition of 261 digital images that were

further processed through an autocorrelation-based algorithm developed by Bosnic *et al.* (2012), based on Barnard *et al.* (2007) work.



Fig. 5. Samples location (Source: Esri basemap, Mar, 18<sup>th</sup>, 2011).

## 4. RESULTS

### 3.1. Sediment textural variability

Results show that the  $D_{50}$  of the Nazaré coastal system, considering the total analyzed images, is highly variable, ranging from  $-0.17$  to  $2.34 \phi$  (Table I). The coarser sediments were found at Guilhim beach with a mean  $D_{50}$  equal to  $0.57 \phi$  while the finer ones were found on Prainha beach with a mean of  $D_{50}$  of  $1.16 \phi$ .  $D_{50}$  was found to be higher at Norte beach (Sep, 13<sup>th</sup>, 2013) with  $0.50 \phi$  followed, in decreasing order, by Prainha beach (Sep, 19<sup>th</sup>, 2013) with  $0.41 \phi$ , Norte beach (Sep, 12<sup>th</sup>, 2013) with  $0.37 \phi$  and, Guilhim beach (Sep, 13<sup>th</sup>, 2013) with only  $0.25 \phi$ . In what concerns maxima and minima, the coarser sediments were found on Norte beach (Sep, 13<sup>th</sup>) and the finer ones were found on Prainha beach (Sep, 19<sup>th</sup>) (Table I).

Table I. Main statistical parameters of the  $D_{50}$  from the analyzed images (#s – number of samples; #i – number of images; Sedcl. – sediment classification based on the mean values (CS=coarse sand, MS=medium sand); Min – minimum; Max – maximum;  $Q_1$  – first quartile;  $Q_3$  – third quartile; SD – standard deviation). Values in  $\phi$  scale and are based on #i values.

BEACH/DATE	#s	#i	Mean	Sedcl	Min	Max	$Q_1$	$Q_3$	SD
NORTE SEP, 12 <sup>th</sup>	48	165	0.87	CS	0.02	1.68	0.64	1.12	0.37
NORTE SEP, 13 <sup>th</sup>	8	32	0.92	CS	-0.17	1.85	0.77	1.17	0.50
GUILHIM SEP, 13 <sup>th</sup>	2	8	0.57	CS	0.26	0.84	0.35	0.79	0.25
PRAINHA SEP, 19 <sup>th</sup>	14	56	1.16	MS	0.38	2.34	0.94	1.30	0.41

This trend can also be clearly recognized in the analysis of the  $D_{50}$  box-and-whisker represented in Fig. 6.

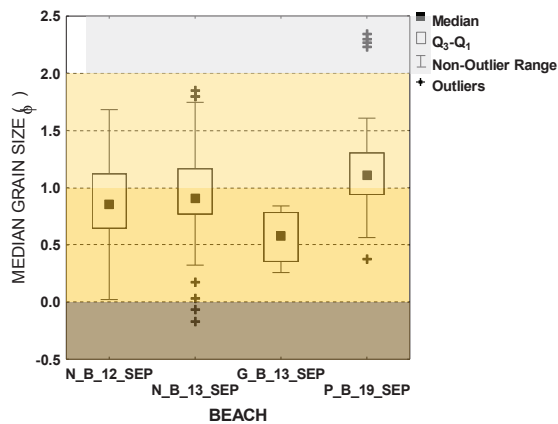


Fig. 6. Box-and-whisker plot of the beach sediment median variability based on 165 digital images. *N\_B\_12\_SEP*: samples collected on September, 12<sup>th</sup>, 2013 from Norte beach; *N\_B\_13\_SEP*: samples collected on September, 13<sup>th</sup>, 2013 from Norte beach; *G\_B\_13\_SEP*: samples collected on September 13<sup>th</sup>, 2013 from Guilhim Beach; *P\_B\_19\_SEP*: samples collected on September 19<sup>th</sup>, 2013 from Prainha Beach.

Using the interquartile range descriptor it is possible to see that the coarse sand is the dominant textural type at Norte and Guilhim beaches while at Prainha beach the medium-sized sand prevails. Considering the complete range of  $D_{50}$  values it is possible to observe that very coarse sand is only identified at Norte beach while fine sand occurs only at Prainha beach.

## 5. DISCUSSION

The main statistical parameters (mean, median and interquartile range) of the  $D_{50}$  indicate a large range of values, from very coarse sand to fine sand. These values agree with those described in Cascalho *et al.* (2012) for Norte beach. Data also show that coarse sediments were only found at Norte beach while at Prainha beach, located downdrift Nazaré headland, some samples correspond to fine sand sediments (Table I and Fig. 6).

These differences should be related with the sediment transport processes induced by a particular oceanographic forcing and geomorphological setting that occurred during this experiment. Northwest low amplitude waves ( $H_s < 1.5$ ) induced a southward longshore current at Norte beach with an average value of 0.4 m/s (Beach to Canyon, 2013). This current direction persisted during the entire fieldwork and was responsible for a net longshore drift transport in the same direction. This oceanographic setting induced an energy gradient along the study area, with an abrupt decrease in transport capacity towards Prainha (south-faced beach).

At Guilhim, it was observed the development of a swash bar, close the coast, between Guilhim sherry and Nazaré headland. In this peculiar geomorphological setting, that persisted for only a few days (with maximum expression on September 13<sup>th</sup>), sediment transport towards the Prainha was temporary limited to the sand transport that took place during overwash events at high tide (Fig. 7).

This processes is compatible with an active grain size sorting process that explains the presence of finer sediments on the downdrift end of the study area (Prainha beach).

The detection of several coated sand grains at the Prainha beach, on the dawn of September 15<sup>th</sup>, 2013, after 60 hours of the sand tracer released, confirms this transport pattern and sediment bypass of the Nazaré headland (Duarte *et al.* 2014).

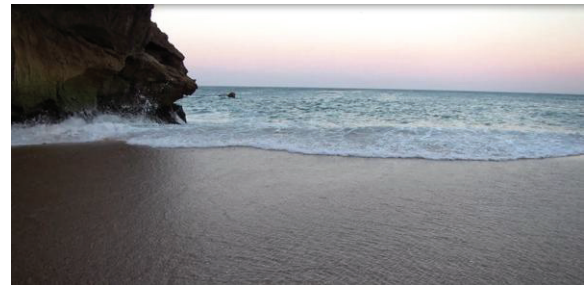


Fig. 7. Image of the wave swash motion responsible for the sediment deposition at Guilhim beach (frame extracted from a small video clip captured at 7:18 a.m. (UTM) of September, 12<sup>th</sup>, 2013).

All the results presented here are in accordance with the hypothesis that, during low energy conditions, the Nazaré headland can act as a natural filter to the longshore transport of coarser particles. This behavior can be explained by the changes in incident wave energy between the west-faced beaches, north of Guilhim, and the south-faced beach of Prainha. Additionally, the filter effect promoted by the swash bar, which developed in this conditions, can also contribute to the increase of the grain size sorting.

## 6. CONCLUSIONS

The computation of the sediment median grain size using a large set of sediment digital images Guilhim and Prainha beach reveal the existence of a high grain size variability with a clear spatial gradient.

The distribution of the  $D_{50}$ , on the active beach face, shows a higher percentage of coarser particles (coarse sand) at north of the Nazaré headland, whereas the fine sand sediments are identified only at Prainha beach.

Results obtained in the scope of the present work show a grain-size selective bypassing process at Nazaré headland that is constrained by a peculiar oceanographic and geomorphological setting.

### Acknowledgements

This work is a contribution of the project *Beach to Canyon Head Sedimentary Processes* (PTDC/MAR/114674/2009), funded by Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT). The data processing tools for the  $D_{50}$  analysis are based on image analysis and are available on the “Beach Sand Code” project web page: <http://sandcode.fc.ul.pt/ImageAnalysis.html>.

### REFERENCES

- Barnard, P. L., D. M. Rubin, J. Harney, and N. Mustain (2007). Field test comparison of an autocorrelation technique for determining grain size using a digital ‘beachball’ camera versus traditional methods, *Sediment. Geol.*, 201, 180–195.
- Beach to canyon (2013). Relatório de campo n<sup>o</sup>6: [http://beachtocanyon.fc.ul.pt/Fieldwork/FieldReport\\_VI.pdf](http://beachtocanyon.fc.ul.pt/Fieldwork/FieldReport_VI.pdf)
- Bosnic, I., Sousa, H., Cascalho, J., Taborda, R., Ribeiro, M. and Lira, C. (2012). New insights into image analysis applied to beach grain-size variability. *2<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa*, 275-278.
- Cascalho, J., Bosnic, I., Taborda, R., Ribeiro, M., Lira, C., Carapuço, M. (2012). Beach sediment grain size variability based on image analysis. *2<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa*, 287-290.
- Duarte, J., Taborda, R., Ribeiro, M., Cascalho, J.; Silva, A. and Bosnic, I. (2014). North beach (Nazaré) sand tracer experiment. *Geophysical research abstracts* Vol. 16. EGU2014.
- Esri basemap (2011-03-18). Imagery Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community).
- Flemming, B. W. (1988). Process and pattern of sediment mixing in a microtidal coastal lagoon along the west coast of South Africa. *In: de Boer, P. L., van Gelder, A. and Nio, S. D. (eds.), Tide-Influenced Sedimentary Environments and Facies*. D. Reidel Publ.Co., Dordrecht, 275-288.
- Folk R. L and Ward W. C. (1957). Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3–26.
- Friedman, G. M. (1961). Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. *Journal of Sedimentary Petrology*, 31, 514–529.
- Lira and Taborda (2014). Advances in Applied Remote Sensing to coastal environments using free satellite imagery. *Remote Sensing and Modelling*. Springer, Berlin, 1-25.
- Mason C. L. and Folk R. L. (1958). Differentiation of beach, dune and aeolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas. *Sedimentary Geology* 56, 167 – 192.
- McLaren, P. and Bowles, D. (1985). The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55, 457-470.
- Rubin, D. M. (2004). A Simple Autocorrelation Algorithm for Determining Grain Size from Digital Images of Sediment. *Journal of Sedimentary Research* 74, 160-165.
- Visher, G. S. (1969). Grain-size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology* 39, 1074-1106.



## Insights on sediment bypassing at headland-bay beaches: an example at the Portuguese west coast

M. Ribeiro<sup>(1,2)</sup>, R. Taborda<sup>(2)</sup>, A. Rodrigues<sup>(1)</sup> and T. Silveira<sup>(3)</sup>

- (1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa, Portugal. [monica.ribeiro@hidrografico.pt](mailto:monica.ribeiro@hidrografico.pt)  
 (2) Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa.  
 (3) Centro de Geologia da FCUL, Campo Grande, 1749-016 Lisboa.

**Abstract:** The understanding of the sedimentary links in headland-bay beaches is a major issue in the assessment of beach sedimentary budget. The present work aims to contribute to the knowledge of this process taking as a case study a rocky coastal stretch of the Portuguese west coast (from Peniche to Raso cape). This study builds on a multidisciplinary approach where a detailed analysis of the littoral physiography and inner shelf morphology was combined with the estimation of the potential longshore drift (by the CERC formula using a 56 years wave time series) and the review of existing data on local sediment sources and sinks. The morphological analysis show that there is no evidence of underwater barriers to the longshore sediment transport. This aspect together with sedimentary budget considerations and longshore drift estimates indicate a southward directed headland sediment bypassing with a magnitude that must match the active sediment supply.

**Key words:** headland-bay beaches, sediment bypassing, longshore drift.

### 1. INTRODUCTION

The understanding of the sedimentary links in headland-bay beaches is a major issue in the assessment of beach sedimentary budget. Therefore, it is important to know and characterize the headland sediment bypassing processes. In order to achieve this objective, a rocky coastal stretch that accommodates a series of headland-bay beaches at the Portuguese west coast, was taken as a case study. This work is supported by a detailed analysis of beach planform geometry and inner shelf morphology combined with the estimation of the potential longshore drift and the review of existing data about sediment sources and sinks.

### 2. STUDY AREA

The study area is located at the Portuguese west coast between Peniche and Raso cape (Fig. 1). This coastal stretch has a semidiurnal mesotidal regime and is exposed to swells generated in the North Atlantic. The dominant waves regime is characterized by waves coming from NW and W with significant heights between 1 and 3 m and periods of 7 to 15 s; SW waves, generally related to stormy conditions, do not exceed 3% of observations (Costa *et al.*, 2001).

The study site extends for approximately 100 km, with orientations ranging from NW-SE and NE-SW, depending on the sector. About 45% of the coast consists of beaches, most of which are hinged with cliffs (34.7%) and, a lesser extent backed by dunes (5.6%) and artificial structures (4.4%). The other 55% of the coast consist of cliffs that plunge directly into the sea (18.6%) or are hinged on a marine abrasion platform (35.5%), and artificial structures (1.3%) (Andrade *et al.*, 2011). The beaches are predominantly sandy and exhibit different length, orientation and indentation. Many of these beaches are in dependence of rivers and streams mouths.

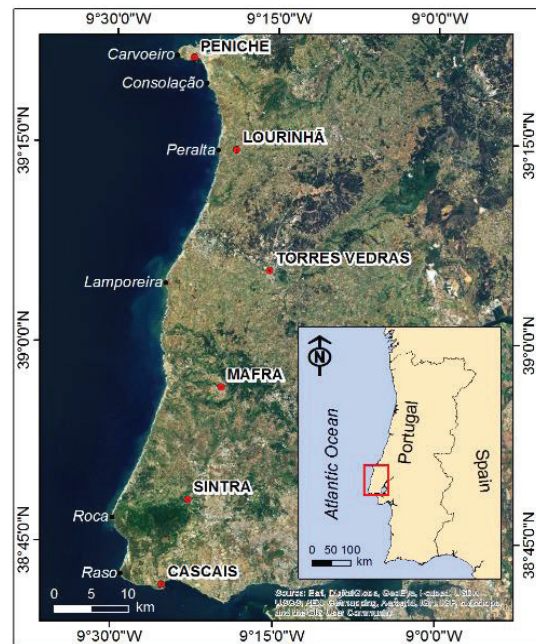


Fig. 1. Location of the study area.

Sediment supply to the study area comes mainly from the erosion of watersheds and cliffs, since currently the littoral drift (generated by NW dominant wave conditions) coming from the northern coastal stretch is considered null, due to the presence of the Peniche peninsula that acts as a physical barrier (Andrade *et al.*, 2002). Considering the results presented by Lira *et al.* (2013) the sand river input to the study area can be estimated in the order of  $10^4 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$ . Information about sediment supply resulting from the cliff's erosion is scarce, existing only for the southern sector of the study area. Andrade *et al.* (2008) and Oliveira (2009) estimated a supply of  $4.0 \times 10^2 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$  and  $1.2 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$ , respectively, for the Sintra coast; while Taborda *et al.* (2010) estimated a supply of circa  $1.5 \times 10^2 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$  for the Cascais coast.



In the study area there is no evidence of sediment sinks to the inner shelf. The Guincho dune field is the only plausible sink identified, with a magnitude estimated in circa  $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$  (Rebêlo *et al.*, 2002).

### 3. METHODS

#### 3.1. Inner shelf morphology

The morphological analysis of the inner shelf was based on LiDAR data from 2011, provided by Direção-Geral do Território. The analysis was performed for depths between 0 m and 10 m (relative to the mean sea level) due to the poor coverage of the survey at greater depths, and also because it approximates to the 11-16 m closure depth estimated for the inner shelf north of study area that has a similar oceanographic forcing (Lapa *et al.*, 2012). The length and slope of 69 E-W, 1 km equalled spaced, bathymetric profiles were computed. A qualitative analysis of bottom type (rocky/sandy) based on the geometry (sinuosity and spacing) of bathymetric contours was performed. This analysis was based on the assumption that sandy bottoms have smooth low gradient surfaces.

#### 3.2. Beach planform geometry

Beach planform geometry was characterized by the computation of beach length and orientation. These parameters were estimated from the dry/wet line that matches the wave swash limit and typically represents berm crest position. This line was drawn on the ESRI World Imagery application, using a fixed display scale (1:3000).

#### 3.3. Potential longshore drift

Potential longshore drift was estimated using a 56 years wave time series reconstructed by Dodet *et al.* (2010). The waves were propagated up to 15 m depth using the SWAN model (Booij *et al.*, 1999) with a computational grid resolution of 500 m. The breaking wave direction

was estimated using the Snell law, assuming that above the 15 m depth, bathymetry is regular and parallel to the coast. Significant wave height and wave power at breaking were estimated based on the linear wave theory.

The CERC formula (Rosati *et al.*, 2002) was used to estimate the total submerged longshore transport rate ( $Q$ ):

$$Q = K \left( \frac{\rho \sqrt{g}}{16 \gamma_b (\rho_s - \rho) (1 - p)} \right) H_s^{\frac{5}{2}} \sin(2\theta_b) \quad (1)$$

where  $K$  is the wave breaking criteria (0.78);  $\rho$  is the sea water density ( $1025 \text{ kgm}^{-3}$ );  $\rho_s$  is the quartz density ( $2650 \text{ kgm}^{-3}$ );  $g$  is the gravitational acceleration ( $9.81 \text{ ms}^{-2}$ );  $p$  is the sand porosity (0.4);  $H_s$  is the wave significant height at breaking;  $\theta_b$  is the wave breaker angle, and  $\gamma_b$  is an empirical coefficient whose value recommended by the Shore Protection Manuals (1984) is 0.39.

The mean potential longshore drift (net annual drift) and the north and south-directed components were analysed.

### 4. RESULTS

#### 4.1. Inner shelf morphology

The inner shelf has an average width of 450 m with minor variations. The slopes are, in general, gentle and less than  $2^\circ$ . The narrowest and steep area occur offshore Roca cape. The inner shelf bottom type classification shows that sandier areas are located north of the Consolação, Peralta, Lamporeira, Roca and Raso headlands; whereas the prevailing rocky bottoms are located downdrift (southern) of the headlands. The stretches classified as mixed bottoms (sandy and rocky) correspond to transition areas between the rocky and sandy areas (Fig. 2A).

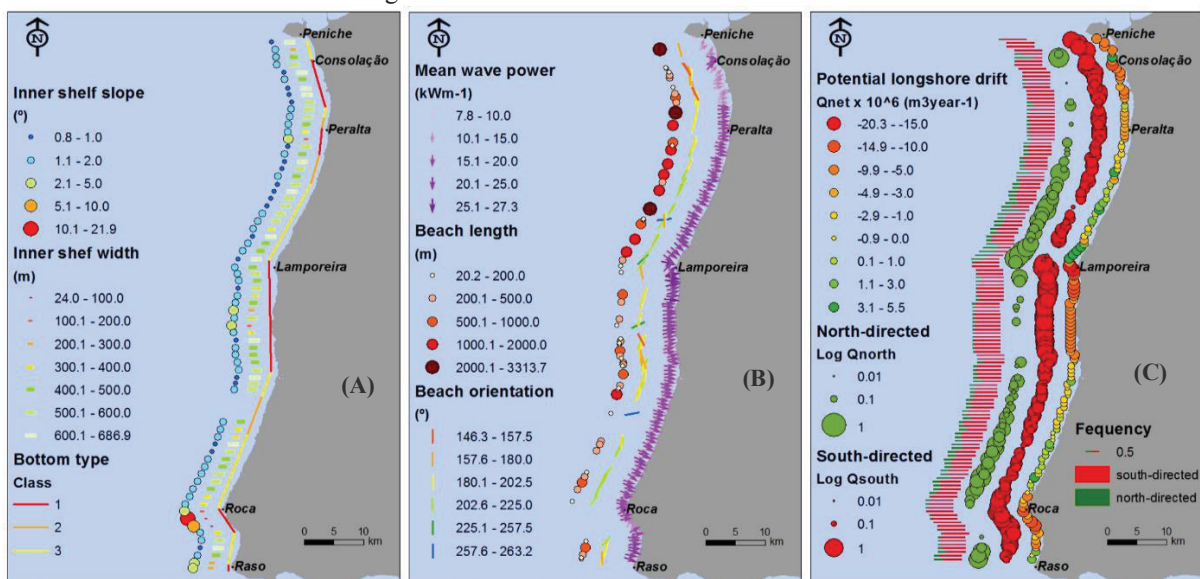


Fig. 2. (A) Inner shelf slope, width and bottom type classification (class 1 – predominantly rocky; class 2 – mixed rocky/sandy; class 3 – predominantly sandy). (B) Mean wave power/mean direction wave power, beach length and orientation. (C) Potential longshore drift: net annual drift (north-directed - positive values and south-direct - negative values) and north- and south-directed components frequency and magnitude.

The morphological analysis at the headlands mentioned above shows a shallow rocky bottom without obstacles to the longshore sediment transport.

#### 4.2. Beach planform geometry

The longest beaches (> 2 km) are located in the northern sector between Peniche and Ponta da Lamporeira. In the southern sector the beaches have, in general, less than 1 km length. The beach orientation varies between 146° and 263° azimuths (*i.e.* NNW-SSE and WSW-ENE) and, in general, coincides with the general orientation of the coastal stretch where the beaches occur. The exceptions are the strongly encased beaches (Fig. 2B).

#### 4.3. Potential longshore drift

The potential longshore drift (net annual drift) is lower at the rectilinear NE-SW oriented coastal stretches, while the more sinuous coastal sectors oriented NW-SE and N-S have a higher potential transport. The direction of transport is preferably south (higher frequency). However, in some (circumscribed) areas potential drift has a northward direction, being the most notable case just north of Ponta da Lamporeira (Fig. 2C).

## 5. DISCUSSION

The study coastal stretch comprises a headland-bay beach at the northern boundary (Peniche-Consolação beach) and three macro scale embayments with similar characteristics: Consolação-Lamporeira; Lamporeira-Roca and Roca-Raso. The northern sectors of these embayments are characterized by a crenulated coast with a predominantly rocky inner shelf, characteristic of sand starved systems; while at the southern sectors the coast is straighter with a predominantly sandy inner shelf. These characteristics are the result of the modulation of incident waves by the coastline orientation. This effect generates a permanent, high magnitude, southward longshore drift at the northern sectors; at the southern sectors, this southward component weakens and is counterweighed by a northward one that reduces the net dominant drift. In some places, located immediately north of the main headlands, the aforementioned process can lead to a reverse in direction of the net longshore drift.

The frequency and magnitude of the longshore drift components in the vicinity of the main headlands indicate that this boundaries only can be crossed in a single direction. This behaviour can be explained considering that the net drift in the southern sectors is permanently south-directed, so all the sediment that bypass the headland cannot reverse its movement. This means that the more prominent headlands can be regarded as gated boundaries.

Since the sediment retention at this coastal stretch, at macro time scale, can be considering invariant

(which is supported by the stable beach behaviour at a decadal time scale), the sources must balance the sediment sinks.

Considering the above is now possible to define the sedimentary budget for each cell, and therefore for entire coastal stretch (Fig.3):

- 1) Peniche-Consolação – closed cell; no relevant sources or sinks.
- 2) Consolação-Lamporeira – sources: sediment supply by rivers and cliff erosion (A); sinks: sediment bypassing at downdrift end of the cell (A).
- 3) Lamporeira-Roca – sources: sediment bypassing at updrift of the cell (A), sediment supply by rivers and cliff erosion (B); sinks: sediment bypassing at downdrift end of the cell (A+B).
- 4) Roca-Raso – sources: sediment bypassing at updrift of the cell (A+B), sediment supply by rivers and cliff erosion (C); sinks: sediment input to the Guincho dune field (D) and sediment bypassing at downdrift end of the cell (A+B+C-D).

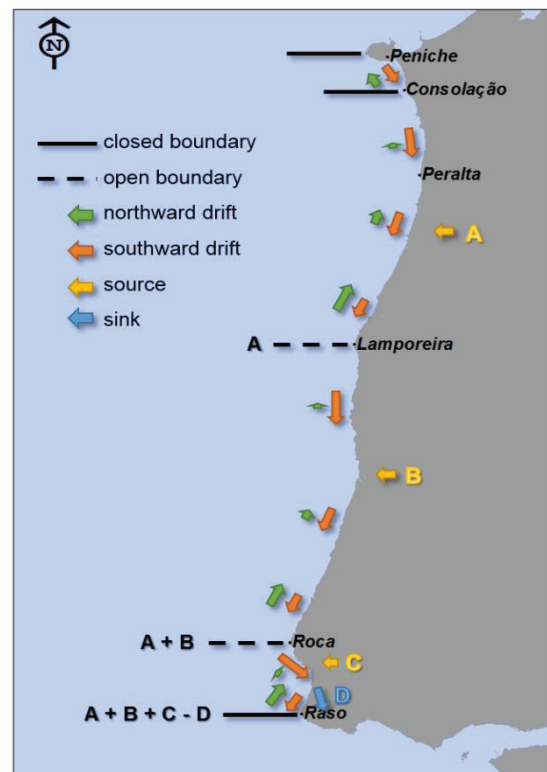


Fig. 3. Sedimentary budget of the study area.

Despite the few existing data, the estimates of sediment supply (from the erosion of watersheds and cliffs) reported in the literature are of the order of  $10^4 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$ ; this value is the same order of magnitude of the Guincho sink (Rebêlo *et al.*, 2002). Therefore, the results seem to indicate the absence of sediment bypassing at Raso cape, a sediment bypassing of  $10^4 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$  at Roca cape and a

substantially smaller sediment bypassing at Lamporeira headland.

## 6. FINAL REMARKS

The morphological analysis of the littoral and inner shelf together with sedimentary budget considerations and longshore drift estimates indicate a southward directed sediment bypassing at Lamporeira and Roca headlands, with a magnitude that must match the active sediment supply; while the Raso headland sediment bypassing should be negligible given the magnitude of sand input to the Guincho dune field. The results showed that the greater constraints of the sediment dynamics at study area are the coast orientation and the beach retention capacity.

## Acknowledgements

The first author is supported by PhD grants funded by the Portuguese *Fundação para a Ciência e Tecnologia* (SFRH/BD/79126/2011). This work was supported by the project Beach to Canyon Head Sedimentary Processes (PTDC/MAR/114674/2009) funded by FCT.

## REFERENCES

- Andrade, C. (coord), Antunes, C., Marques, F. *et al.* (2011). *Criação e implementação de um sistema de monitorização no litoral abrangido pela área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P.. 3º Progress Report*, unpublished, 113 p.
- Andrade, C., Taborda, R., Marques, F., Freitas, C., Antunes, C., Mendes, T. and Carreira, D. (2008). *Plano Estratégico do concelho de Sintra face às alterações climáticas. Zonas costeiras*. Lisboa. 62 p.
- Andrade, C., Freitas, M.C., Cachado, C., Cardoso, A., Monteiro, J., Brito, P. and Rebelo, L. (2002). Coastal zones. In: Santos, F.D.; Forbes, K. and Moita, R. (Eds.), *Climate change in Portugal. Scenarios, impacts and adaptation measure*. Lisboa, Portugal: Editions Gravia, pp. 173-219.
- Booij, N., Ris, R.C. and Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104(C4), 7649–7666.
- Costa, M., Silva, R. and Vitorino, J. (2001). Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa, *2ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. Associação Nacional de Navegação (Sines, Portugal).
- Dodet, G., Bertin, X. and Taborda, R. (2010). Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades. *Ocean Modelling*, 31, 3-4, 120-131.
- Lapa, N., Rodrigues, A., Taborda, R., J. Duarte, J. and Pinto, J.P. (2012). The sedimentary processes of the Portuguese inner shelf of Almagreiro Beach (Peniche). *2ª Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Instituto Hidrográfico, 279-282.
- Lira, F.C., Taborda, R. and Andrade, C. (2013). Estimativas de descarga sólida fluvial potencial. *Estudo do litoral na área de intervenção da APA I.P. /ARH do Tejo*, 22 p.
- Oliveira, L. (2009). *Estudo Morfodinâmico e Sedimentar das praias do concelho de Sintra*. Master thesis. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 148 p.
- Rebêlo, L.P., Brito, P.O. and Monteiro, J.H. (2002). Monitoring the Cresmina dune evolution (Portugal) using differential GPS. *Journal of Coastal Research*, SI 36, 591-604.
- Rosati, J.D., Walton, T.L. and Bodge, K. (2002). Longshore sediment transport. In: Vincent, L., y Demirbilek, Z. (editores), *Coastal Engineering Manual*, Part III, Chapter III-2, Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- Shore Protection Manual* (1984). 4<sup>th</sup> ed., 2 vols, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, US Government Printing Office, Washington, DC.
- Taborda, R., Andrade, C., Marques, F., Freitas, C., Rodrigues, R., Antunes, C. and Pólvara, C. (2010). *Plano estratégico do concelho de Cascais face às alterações climáticas. Zonas costeiras*. Lisboa. 48 p.

# Morphodynamic processes of the beaches in front to the Pilot Zone

N. Lapa<sup>(1)</sup>, F. Ferreira<sup>(1)</sup>, C. Pólvora<sup>(1)</sup>, A. Rodrigues<sup>(1)</sup> e C. Luz<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico. [nuno.lapa@hidrografico.pt](mailto:nuno.lapa@hidrografico.pt)

**Abstract:** Under the scope of the morphodynamic characterization of the coastal areas adjacent to the cable routes (corridors) of the Pilot Zone (Decreto Lei 5/2008), several field campaigns were undertaken in order to achieve those goals. The beaches of Pedras Negras (south), Vieira de Leiria (central) and Pedrogão (north) were surveyed during a one year period (June 2011, September 2011, December 2011 and March 2012) and topographical, complemented with sediment sampling, data were acquired in selected cross shore profiles, as well as wave data acquired by an offshore multiparameter buoy. In this communication, the dynamic processes, both morphologic and sedimentological aspects, of those beaches will be described.

**Keywords:** Pilot Zone, beach, morphodynamics, sediment dynamics, topography.

## 1. INTRODUCTION

The Pilot Zone (PZ) is a 320 km<sup>2</sup> area located in the Portuguese west coast offshore S. Pedro de Moel, between 30 and 100 m depth. It includes 3 E-W cable routes. The Portuguese Hydrographic Institute (IH), as described by Bizarro et. al (2012), performed the main characterization of the PZ and the adjacent beaches: Pedras Negras (south corridor), Vieira de Leiria (central corridor) and Pedrogão (north corridor). Well exposed to the main wave regime, the 3 beaches showed different behaviors to the same oceanographic energy.

Concerning the studied area, the wave regime on the PZ, is characterized by an average significant wave height of about 2.04 m, energy period of 8.67 m and peak period of 10.49 s (Bizarro et al. (2012)). Generally, the wave regime has a NW direction, however, during winter, a western rotation was observed (Bizarro et al. (2012)). During this season the variability in the wave direction is higher.

The present study aims to characterize the morphodynamic processes of each of the PZ corridors adjacent beaches.

## 2. FIELD WORK AND DATA ANALYSIS

Field data included 4 topographic surveys, held between June 2011 and March 2012, complemented with sediment sampling in selected cross-shore profiles. In each survey, sediments were collected at the principal features of the beach profile (dune, berm, face and terrace). A total of 257 samples (Pedrogão: 127; Vieira de Leiria: 66; Pedras Negras: 64) were collected along cross-shore profiles. Positioning data were acquired with a GGPS system (Geodetic Global Positioning System) TRIMBLE 5700. Data processing was made with the use of TRIMBLE GEOMATICS OFFICE v. 1.631. Altimetric data was projected considering the Hydrographic Zero (HZ) as a reference plane (two

meters below mean sea level – MSL). To describe and quantify seasonal morphological variations of the coast during the studied period, digital terrain model (DTM) for each beach was built with ESRI ArcGIS 10 software, using interpolation of topographic data. Description of main morphological and sediments variations was made on selected cross shore profiles extracted from the DTM. Sediment samples were described in terms of grain size (following normalized standard procedures which are in accordance with the international ISO IEC 17025:2005 requirements for the competence of testing laboratories).

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. Pedrogão beach

#### 3.1.1. Sediments variability

Most of the sediment samples are coarse to medium sand (mean grain size ranging from  $0\phi$  to  $1\phi$  and  $1$  to  $2\phi$ ) and occasionally very coarse sand ( $0\phi$  to  $-1\phi$ ) (Fig. 1).

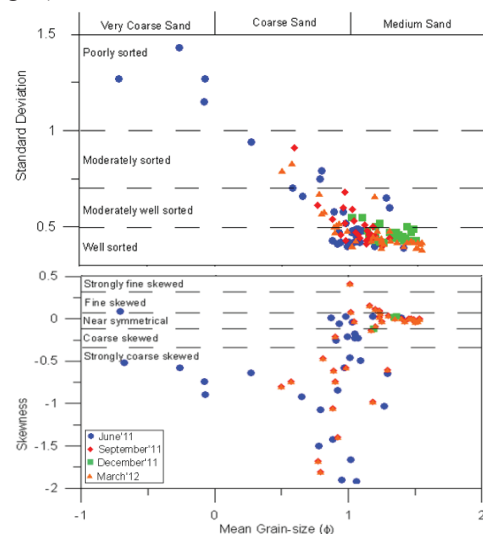


Fig. 1—Pedrogão sediments: mean grain-size vs. standard deviation and mean grain-size vs. skewness (Bizarro et al (2012)).



The beach showed both long-shore and cross-shore variability: sediments tend to be coarser from north to south and from upper beach to the lower beach profile (swash zone and terrace). Medium sands from this beach tend to be well sorted and near symmetrical while coarse sands are moderately well sorted to moderately sorted with variable skewness (from near symmetrical to strongly coarse skewed) as seen in figure 1.

3.1.2. Morphological variations

In June the beach showed typical low energy morphology with a well developed berm, beach face and terrace at the southernmost part while the remaining had smaller berm, although maintaining the other morphological forms. The average slope ranges from 2° to 4°, with the exception of profiles P4 (5.71°) and P5 (9.09°) in June 2011. These typical summer profiles were not found in the following surveys, when the beach morphology had a permanent winter storm configuration with a very rectilinear and concave surface.

In terms of surface variations (Fig. 2), between June and September 2011, general sediment accumulation was observed (maximum value of 3.75 m between P5 and P6).

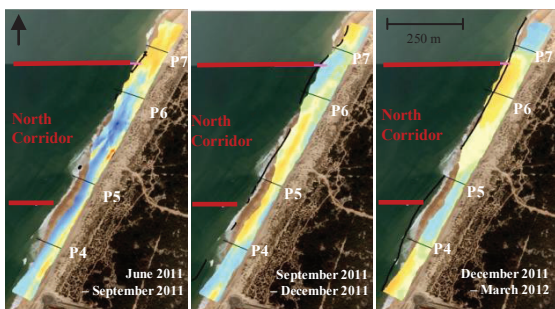


Fig.2 – Observed topographic vertical variations of Pedrogão beach between two surveys. Scaled from > +3.5 m (dark blue) to < -3.5 m (dark red) (from. Bizarro et al (2012)).

The upper beach showed 1 m to 1.25 m depletion with the formation of a prominent scarp/step. South of P5, at the upper beach, above 5 m HZ, the sediment loss was less important with values ranging between 0.25 m and 1 m. Between September and December 2011, Pedrogão beach experienced sediment depletion in the central area, between P4 and P6, in contrast with outer parts, where some accumulation took place as well as close to the dune limits (Fig. 2). Vertical variations, either positive or negative compensated opposite values, and globally they didn't vary much beyond 1 m (calculated mean variation of 0.08 m). From December 2011 to March 2012, the beach didn't show significant altimetric variations (less than 1 m with a mean variation of -0.04 m).

Concerning the sedimentary budget, the global volumetric variation indicates that, from June 2011 to March 2012, the beach had a positive volume balance: around 24 000 m<sup>3</sup> (Fig. 3).

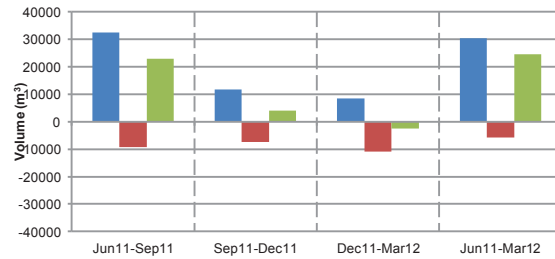


Fig. 3 – Estimated volumetric changes in Pedrogão beach (blue – accumulation; red – erosion; green – balance) (Bizarro et al (2012)).

3.2. Vieira de Leiria beach

3.2.1. Sediments variability

Generally, sediment samples indicate that this beach is characterized by coarse to medium sand, with mean grain-size ranging from 0φ to 1φ and 1 to 2φ (Fig. 4).

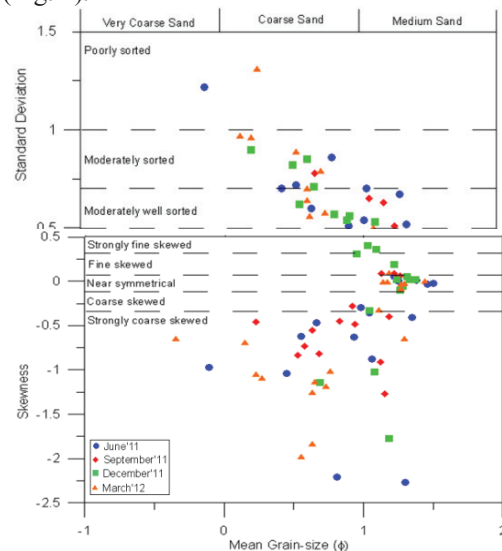


Fig. 4 – Vieira de Leiria sediments characterization: mean grain-size vs. std. deviation and mean grain-size vs. skewness. (Bizarro et al. (2012)).

Cross-shore variations indicate that finer sediments (medium sands) are found in the upper beach while coarser ones concentrate at the swash zone and terrace. Figure 4 expresses the relation between statistical parameters and grain size. Coarse to very coarse sands are moderately well sorted to poorly sorted and strongly coarse skewed while medium sand samples are well sorted to moderately well sorted and strongly fined skewed to near symmetrical.

3.2.2. Morphological variations

In June, the beach profile P4 exhibited an intermediate profile configuration: small berm crest, beach face and well develop terrace. P5 had a typically low energy profile with a well developed berm, beach face and terrace. The other profile, P3, had high energy winter characteristics (well developed beach face and terrace). Until March 2012, the beach exhibited an approximately

rectilinear profile, typical of winter conditions (the beach face and terrace extended to the entire profile). In the last survey (March 2012), profile P3 had an extensive beach face and a very flat terrace with concave configuration. Profile P4 showed a small berm, beach face and terrace. A small crest was recognized in profile P5. In general, all profiles had higher altimetry values, as a result of a general sediment accumulation. The average beach slope varied between 2° and 4°.

Comparing the behavior of the Vieira de Leiria beach between June 2011 and September 2011 (Fig. 5), two distinct responses concerning altimetric changes can be considered. The first one was identified in the northern sector, which suffered sediment loss below 4 m HZ with values of depletion reaching approximately 3 m. The second one concerns the remaining beach, where sedimentary accumulation was observed and was responsible for vertical variation of about 1.64 m on the topographic surface. From September to December, the most significant vertical variation was registered in the central area, where sediment erosion reached about 2.10 m. Positive increase on the topographic surface was observed only near the southern boundary of the beach (approximately 1.25 m). Between the last two surveys a general increase of altimetry due to sediment accumulation was observed above the mean sea level along the beach, with values ranging from 0.85 m to 3.25 m (Fig. 5). With such beach growth, sediment depletion occurred mostly below the mean sea level, in the central sector.

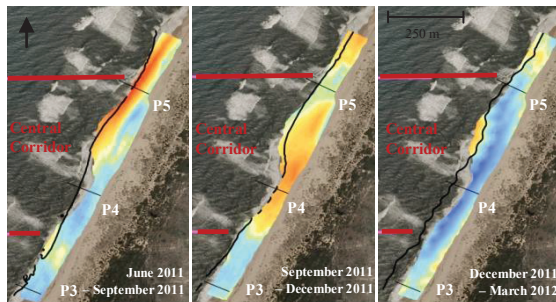


Fig. 5 – Observed topographic vertical variations of Vieira de Leiria beach between two surveys. Scaled from  $> +3.5$  m (dark blue) to  $< -3.5$  m (dark red) (from. Bizarro et al (2012)).

The beach global sedimentary balance in the studied period was positive (about 20 000 m<sup>3</sup>; Fig. 6).

### 3.3. Pedras Negras beach

#### 3.3.1. Sediments variability

In general, sediments from this beach were medium to coarse sands (mean grain-size ranges from  $0\phi$  to  $1\phi$  and  $1\phi$  to  $2\phi$ ) (Fig.7). However the sediments located in the lower beach profile, swash zone and terrace, are coarser (very coarse to medium sand) than the ones in the upper beach (medium sand).

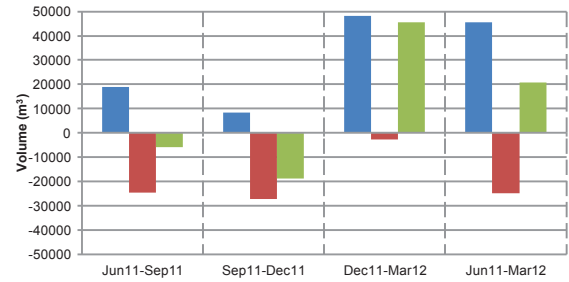


Fig.6 – Estimated volumetric changes in Vieira de Leiria beach (blue – accumulation; red – erosion; green – balance) (Bizarro et al (2012)).

Long-shore spatial variations also indicate that sediments become coarser southward. Plotting mean grain-size vs. standard deviation and mean grain-size vs. skewness, one can verify that medium sands are mainly well sorted, with variable skewness while the majority of coarser sediments are moderately sorted to poorly sorted and strongly coarse skewed (Fig. 7).

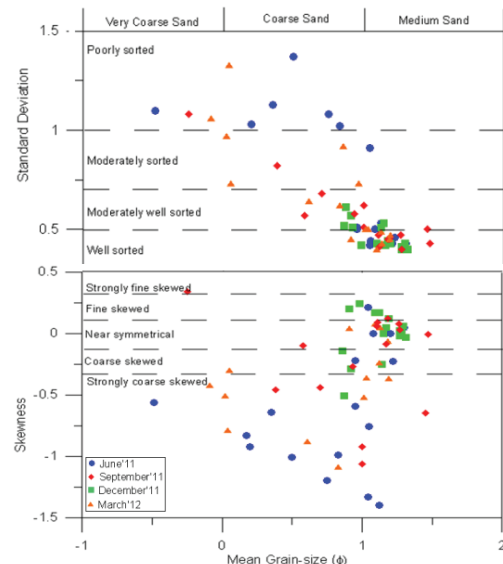


Fig. 7 – Pedras Negras sediments characterization: mean grain-size vs. standard deviation and mean grain-size vs. skewness (Bizarro et al (2012)).

#### 3.3.2. Morphological variations

In June, the southern profile (P2) showed an intermediate incipient berm, beach face and terrace. The northern profiles, P3 and P4, had a very typical reflective morphology with a sloping beach face, berm crest and long terrace. In September, the presence of berms and bars in profiles P2 and P3 attest accretion episodes in contrast with the erosion observed in P4 (flat beach face and a concave terrace).

In December, winter conditions prevailed, and morphology was characterized by very flat beach faces and terraces with concave geometry. In March 2012, P2 had a smoother morphology with a lower beach ridge and runnel system. P3 and P4 had very different morphologies, with a very steep beach face.

In what concerns to altimetry differences, between June and September 2011, a general sediment accumulation occurred. This is particularly visible in the beach central area, between P3 and P4, where the accretion reached a maximum of 3.91 m (Fig. 8). In contrast, erosion evidences were observed in the northern sector, close to P4, where a beach scarp was observed. From September to December 2011, a general sediment loss was observed along the entire beach, with sediment depletion concentrated in the central sector, where a 3.52 m peak was measured between P2 and P3. A regular accumulation/erosion pattern can be recognized along the beach extension between December 2011 and March 2012 (Fig. 8), indicating the presence of beach cusps in March 2012. The peak values of sediment accumulation and erosion are quite similar, reaching 3.38 m and 3.13 m respectively. Sediment accumulation occurs mainly in the central sector of the beach between P2 and P4 while erosion occurs at its extremities, namely in the southern limit of the upper beach up to the dunes and in the northern limit along the transversal profile of the beach.

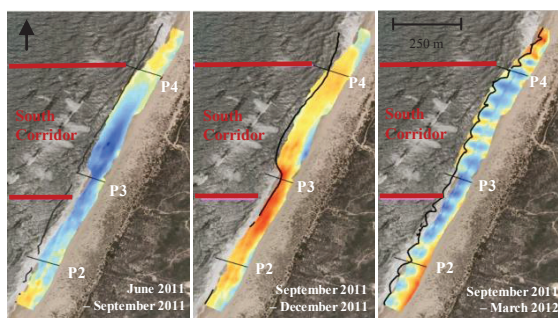


Fig. 8 – Observed topographic vertical variations of Pedras Negras beach between two surveys. Scaled from  $> +3.5$  m (dark blue) to  $< -3.5$  m (dark red) (from Bizarro et al (2012)).

The sediment balance estimation for the 9 months period indicates that the beach grew near  $49\,000\text{ m}^3$  while the loss was about half resulting in a positive balance of approximately  $22\,000\text{ m}^3$  (Fig. 9).

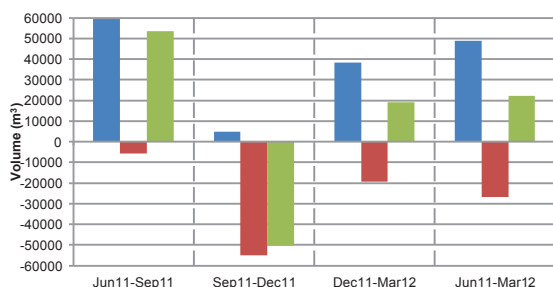


Fig. 9 – Estimated volumetric changes in Pedras Negras beach (blue – accumulation; red – erosion; green – balance) (Bizarro et al (2012)).

#### 4. CONCLUSIONS

Since the studied area is located in the Portuguese west coast in a wide coastal zone characterized by the presence of long sandy beaches without any

physical constraints, their morphodynamic response to mete-oceanographic forcing (morphologic changes and sedimentary budget) was very variable. In fact, the beach morphology and sediment characteristics and budgets showed lateral variation due to very energetic sediment dynamics. The morphological analysis showed a maximum depletion depth of about 6.86 m (north part of the Pedras Negras beach) registered between June and September 2011, while accretion reached a maximum value of approximately 3.91 m also at Pedras Negras in the same period. Despite that 2/3 of the studied period was considered to be in winter conditions (from October to March), the 3 beaches registered growth, yielding a positive budget in the order of  $20\,000\text{ m}^3$ .

The studied period was characterized by the transition of the North Atlantic Oscillation (NAO) index ([www.cpc.ncep.noaa.gov](http://www.cpc.ncep.noaa.gov)), from negative (May to August 2011) to positive values (between September 2011 and April 2012). According to Dodet et al. (2010) a negative NAO index is related to western-than-average mean wave direction while a positive index is connected to a northern-than-average direction. As such, volume gain on the beach profile during the winter might be related by profile readjustments induced by this particular forcing. Possibly the sediments were transported from the submersed beach profile and deposited into the upper part of the profile. Further work will be carried out to confirm this explanation.

#### Acknowledgments

This is a contribution of the “Caracterização Geofísica da Zona Piloto (Geophysical Characterization of the Pilot Zone)” project, funded promoted by ENONDAS.

#### REFERENCES

- Bizarro, A. R., Oliveira, A., Santos, A. I., Rosa, L., Pinto, J. P., Pólvara, C., Ferreira, F., Lapa, N., Cruz, I., Pombo, J., Reis, L., Silva, S., Caetano, A. & Duarte, J. (2012). *Caracterização Geofísica da Zona Piloto – Relatório Técnico Final REL TF GM 04/12* – Instituto Hidrográfico, Lisboa.
- Dodet, G., Bertin, X. & Taborda, R. (2010). *Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades, Ocean Modelling*. 31 (3-4), 120-131.
- NP.ISO/IEC 17025:2005. Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração.

[www.cpc.ncep.noaa.gov](http://www.cpc.ncep.noaa.gov)



# Determinação das características mecânicas de sedimentos lodosos

N. Lapa<sup>(1)</sup>, J. Pombo<sup>(1)</sup> e A. Rodrigues<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico. [nuno.lapa@hidrografico.pt](mailto:nuno.lapa@hidrografico.pt)

**Resumo:** Face à crescente procura de locais em ambiente marinho para instalação de estruturas portuárias, ou instalação de equipamentos de aproveitamento de energia marinha, a caracterização clássica dos sedimentos do fundo demonstrou ser insuficiente. É necessário incluir nessa caracterização o comportamento mecânico do solo quando sujeito a determinadas cargas ou esforços provocados pelas mais diversas estruturas. Nesse sentido, e desde de 2011, o Laboratório de Sedimentologia da divisão de Geologia Marinha tem vindo a desenvolver novas competências para responder a estas solicitações, destacando-se a determinação do limite de liquidez em sedimentos lodosos. No presente trabalho será apresentada a metodologia implementada para a determinação do limite de liquidez e comparação entre os métodos da concha de Casagrande e do cone penetrómetro. Os resultados serão discutidos em face dos testes realizados em vários tipos de sedimentos de granulometria inferior a 425 µm, colhidos especificamente para este estudo.

**Palavras-chave:** Geotecnia, limite de liquidez, concha de Casagrande, cone penetrómetro, sedimentos lodosos.

## 1. INTRODUÇÃO

Para conhecer o ambiente marinho e as propriedades do subsolo, a correta e completa descrição da camada de sedimentos deve ser sempre considerada. Nesse sentido, e principalmente nos sedimentos marinhos ricos em fração silto-argilosa, é importante incluir na descrição dos mesmos, os conceitos de geotecnia ou, mais concretamente, os princípios da mecânica dos solos, na medida em que o comportamento dos solos/sedimentos quando sujeitos às solicitações impostas por qualquer estrutura de engenharia (como por exemplo, equipamentos de aproveitamento de energia, molhes e estruturas portuárias, emissários submarinos) é muito variável e pode condicionar a sua viabilidade.

No âmbito do desenvolvimento e implementação de novas metodologias no Laboratório de Sedimentologia da divisão de Geologia Marinha do Instituto Hidrográfico, foram estudados dois métodos para a determinação dos limites de Atterberg. Estes limites, também designados por limites de consistência, são os valores que definem os quatro tipos de comportamento que um sedimento lodoso pode ter consoante o seu teor em água (Fig. 1).

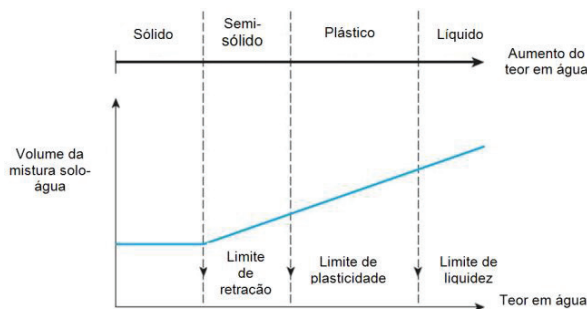


Fig. 1 – Limites de consistência e comportamento dos solos com a variação do teor em água (adaptado de Braja M. Das, 2011).

O limite de liquidez (LL ou WL) é definido como sendo o teor em água no qual o solo passa de um comportamento líquido para um comportamento plástico (moldável). O teor em água que define o ponto de transição entre o comportamento plástico e o semi-sólido (friável) é o limite de plasticidade (LP ou WP). Por fim, o limite de retração (LR ou WR) é o teor em água que baliza o comportamento semi-sólido do comportamento sólido. Abaixo deste limite, o volume do solo passa a ser constante.

No presente estudo será abordada a metodologia implementada para a determinação do limite de liquidez e visa sobretudo a comparação entre os métodos utilizados.

## 2. MÉTODOS

Segundo Lambe e Withman (1969), a determinação do limite de liquidez, comprova a importância da interação sedimento-água em materiais de grão fino. Quer isto dizer que, o aumento do teor em água é proporcional ao espaçamento entre as partículas de um determinado sedimento, diminuindo a interação entre estas e alterando o seu comportamento mecânico. Por isto, a determinação do limite de liquidez revela-se importante na avaliação das propriedades geotécnicas do subsolo marinho, podendo condicionar a fundação de estruturas.

Existem dois métodos para determinar o limite de liquidez: o método da concha de Casagrande e o método cone penetrómetro (*fall cone*). Em Portugal estas metodologias estão devidamente normalizadas, estando em vigor a norma portuguesa NP-143:1969 (determinação do limite de liquidez pelo dispositivo concha de Casagrande), a norma internacional (ISO/TS 17892-12:2004) e a britânica (BS 1377-



2:1990) aplicáveis à determinação do limite de liquidez pelo método do cone penetrómetro.

Nos pontos seguintes será dada uma breve descrição da metodologia adotada no Laboratório de Sedimentologia para a determinação do limite de liquidez.

### 2.1. Concha Casagrande

A determinação do limite de liquidez utilizando o dispositivo concha de Casagrande, foi realizado segundo a norma portuguesa NP-143:1969 – Solos: Determinação dos limites de consistência.

Este dispositivo é composto por uma concha semiesférica, com 2 mm de espessura, e por um mecanismo que, recorrendo à manivela, permite movimentar verticalmente a concha, deixando-a cair repetidamente de uma altura de 10 mm sobre uma base de borracha dura (Fig. 2).



Fig. 2 – Concha de Casagrande utilizada nos ensaios.

Para a execução do ensaio é necessário obter cerca de 100 g de amostra peneirada no peneiro de 425  $\mu\text{m}$ , a que depois se adiciona água destilada (ou salgada no caso de sedimentos marinhos) e se amassa até formar uma pasta homogénea e consistente. Esta pasta é depois colocada na concha, e aconchegada até obter uma camada com a superfície nivelada. Após efetuar um sulco com o riscador, separando-a em duas porções é acionada a manivela, à velocidade de 2 voltas por segundo, até que as duas porções se unam pela parte inferior do sulco numa extensão de cerca de 1 cm, anotando-se o número de pancadas correspondente. Recolhe-se cerca de 10 g da amostra na zona de contacto para determinação do teor em água. A operação atrás descrita tem de ser repetida, mínimo mais três vezes, alterando o teor em água, com a adição de mais água à pasta obtida anteriormente. O número de pancadas dos ensaios deve variar entre 10 e 40.

A relação entre o teor em água e o número de pancadas é projetada num gráfico e determina-se, por interpolação linear, qual o limite de liquidez que é dado pelo teor em água correspondente a 25 pancadas. Considera-se o resultado válido quando a correlação entre os teores em água obtidos e o número de pancadas for igual ou superior a 90 %.

### 2.2. Cone penetrómetro

Os ensaios para a determinação do limite de liquidez através do método do cone penetrómetro (*fall cone*)

são realizados segundo a norma técnica britânica BS 1377-2:1990 – *Methods of test for Soils for civil engineering purposes – Part 2: Classification tests*.

O dispositivo do cone penetrómetro é constituído por um braço ajustável, um leitor de penetração e por um cone de aço inoxidável ou duralumínio com 80 g de massa e, aproximadamente, 35 mm de altura, de superfície polida com um ângulo de 30° (Fig. 3). Para a realização deste ensaio é necessário obter cerca de 300 g de amostra de sedimento, peneirado no peneiro de 425  $\mu\text{m}$ , a que depois se adiciona água destilada ou salgada e se amassa até formar uma pasta homogénea e consistente. Toma-se uma porção desta pasta e coloca-se numa cápsula de metal sem aprisionar ar, de modo a que fique uma superfície lisa e nivelada. Baixa-se a o cone até que este contacte com a superfície da amostra e regista-se o valor da posição inicial. Liberta-se o cone para que caia livremente sobre a amostra, durante um período 5 segundos e regista-se a posição final. A diferença entre a posição final e inicial resulta na penetração efetiva do cone sobre a amostra. Adiciona-se mais um pouco da pasta preparada à cápsula de metal e repete-se o procedimento. Se a diferença entre a primeira e a segunda penetração não for maior que 0,5 mm regista-se a média das duas penetrações e retira-se uma porção da área penetrada para determinação do teor em água. É necessário repetir esta operação no mínimo mais três vezes, alterando o teor em água, com adição de mais água à pasta obtida anteriormente. O intervalo de valores de penetração deverá se situar entre, aproximadamente, 15 mm a 25 mm.



Fig. 3 – Cone penetrómetro utilizado nos ensaios.

No final do ensaio, o teor em água e a profundidade de penetração são projetados num gráfico, no qual é feito o cálculo do limite de liquidez que é dado pelo teor em água correspondente a uma penetração de 20 mm. Considera-se o resultado válido quando a correlação entre os teores em água obtidos e as penetrações for igual ou superior a 90 %.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para comparação e validação dos métodos, no Laboratório de Sedimentologia, foram efetuados

vários ensaios para determinação do limite de liquidez, em diferentes tipos de sedimentos lodosos.

Recorrendo a bibliografia, foram escolhidos dois tipos de sedimentos argilosos, previamente estudados por Sousa (2011), cujo limite de liquidez era conhecido. O primeiro pertencente à unidade “argilas azuis de Xabregas” do Miocénico colhido na Costa da Caparica e o segundo, colhido em Sesimbra, pertencente ao complexo “Formação de Dagorda” do Jurássico. Também foi efetuada a determinação do limite de liquidez em uma amostra referente ao ensaio inter-laboratorial para determinação desse mesmo parâmetro.

Após comparação dos resultados obtidos seguindo os procedimentos descritos no ponto anterior, com os publicados, realizaram-se mais ensaios para a determinação do limite de liquidez, mas em sedimentos de fundo marinho. Os sedimentos marinhos ensaiados foram colhidos no Tejo (Alcântara e Paço d'Arcos), ao largo da costa Sul portuguesa e ao largo da costa Norte francesa.

Os valores obtidos utilizando os métodos de concha de Casagrande e cone penetrómetro permitem tecer as seguintes considerações:

Comparando estes resultados com os obtidos por Sousa (2011), constata-se que as amostras colhidas na Costa da Caparica estão dentro dos valores esperados, apesar de terem sido efetuados menos ensaios. Para o método da concha de Casagrande, aquele autor obteve um valor médio de 39 %, e para o cone penetrómetro obteve 45 %, enquanto no presente estudo obteve-se valores médios de 35% e 40 % para a concha de Casagrande e cone penetrómetro respetivamente.

No que diz respeito às amostras colhidas em Sesimbra (“argilitos carbonatados gipsíferos da Formação de Dagorda”), o presente estudo apresenta um valor médio de 42 % para a concha de Casagrande e 47 % obtido com o cone penetrómetro enquanto Sousa (2011) obteve 44 % com o método concha de Casagrande e igualmente 47 % com o cone penetrómetro.

A amostra ensaiada para o inter-laboratorial obteve um z-score de 0,5, ou seja, diferiu apenas 0,5 desvios padrão do limite de liquidez expectável.

Para demonstrar as diferenças entre os dois métodos utilizados neste estudo, e utilizando o exemplo da amostra colhida em Sesimbra, projetou-se num gráfico todos os valores válidos de teor em água obtidos através da penetração do cone (Fig. 4) e em outro gráfico, o teor em água dado através das pancadas da concha de Casagrande (Fig. 5). Através da observação dos gráficos, constata-se que a correlação dada pelo método cone penetrómetro ( $R^2 = 0,9$ ) é superior à da obtida pela concha de Casagrande ( $R^2 = 0,7$ ).

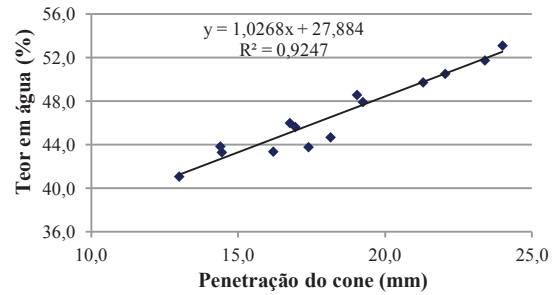


Fig. 4 – Gráfico penetração do cone vs teor em água, e sua respetiva correlação (amostras colhidas em Sesimbra).

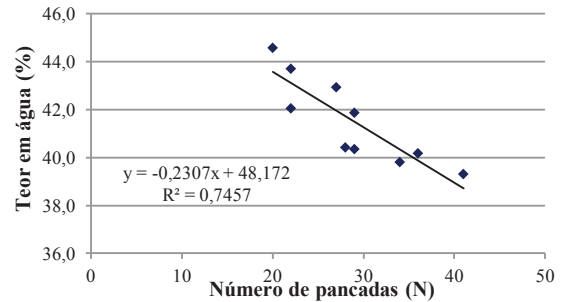


Fig. 5 – Gráfico número de pancadas vs teor em água, e sua respetiva correlação (amostras colhidas em Sesimbra).

Com todos os resultados obtidos, incluindo as amostras de sedimentos lodosos marinhos, projetou-se num gráfico os valores do limite de liquidez obtidos com a concha de Casagrande no eixo das abcissas e os valores do limite de liquidez obtidos através do ensaio cone penetrómetro no eixo das ordenadas (Fig. 6). É possível observar que, embora o número de amostras ensaiadas seja baixo, existe uma forte correlação entre ambos os métodos ( $R^2 = 0,93$ ). Desta comparação entre métodos obtém-se a seguinte equação que exprime a sua correlação:

$$(1) \quad LL_{\text{cone}} = 0,9452 \times LL_{\text{concha}} + 7,5054$$

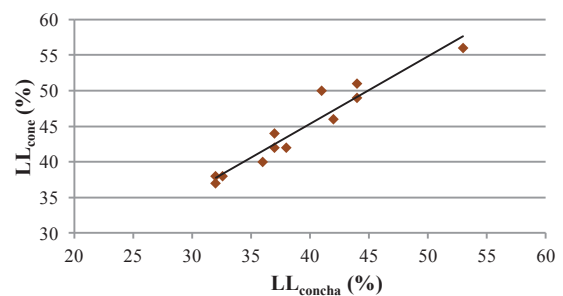


Fig. 6 – Gráfico de correlação, de todas as amostras ensaiadas, entre o limite de liquidez obtido através do método do cone penetrómetro ( $LL_{\text{cone}}$ ) vs limite de liquidez obtido através do método concha de Casagrande ( $LL_{\text{concha}}$ ).

Analisando as equações de correlação obtidas entre ambos os métodos para as amostras ensaiadas no presente estudo (Tabela I), verifica-se que esta se enquadra na maioria das correlações obtidas por vários autores, embora aproximando-se mais às obtidas por Leroueil & Le Bihan (1996), Sridharan & Prakash (2000) e Ozer (2009) (in: Spagnoli (2012) e Sousa (2014).

Tabela 1 – Correlações, entre o limite de liquidez obtido por ambos os métodos, propostas por diferentes autores (adapt. de a – Spagnoli (2012), e b – Sousa (2014)).

Referências	Correlações	Intervalo de LL
Budhu (1985) (b)	$LL_{cone} = 0,94 LL_{concha} + 4,02$	20-100%
Belviso et al. (1985) (a e b)	$LL_{cone} = 0,97 LL_{concha} + 1,19$	34-134%
Wasti & Bezirci (1986) (b)	$LL_{cone} = 1,01 LL_{concha} + 4,92$	27-110%
Queiroz de Carvalho (1986) (b)	$LL_{cone} = 1,07 LL_{concha} + 2,33$	13-48%
Leroueil & Le Bihan (1996) (a)	$LL_{cone} = 0,86 LL_{concha} + 6,34$	30-74%
Sridharan & Prakash (2000) (b)	$LL_{cone} = 0,82 LL_{concha} + 8,20$	33-92 %
Orhan et al. (2006) (b)	$LL_{cone} = 1,04 LL_{concha} + 1,18$	27-98 %
Dragoni et al. (2008) (a e b)	$LL_{cone} = 1,02 LL_{concha} + 2,87$	28-74%
Ozer (2009) (a e b)	$LL_{cone} = 0,90 LL_{concha} + 6,04$	29-104%
Fojtova et al. (2009) (a e b)	$LL_{cone} = 1,00 LL_{concha} + 2,44$	20-50%
Di Matteo (2012) (a)	$LL_{cone} = 1,00 LL_{concha} + 2,20$	24-40%
Spagnoli (2012)	$LL_{cone} = 0,99 LL_{concha} + 1,05$	20-61%

#### 4. CONCLUSÃO

Apesar do número de amostras e de ensaios realizados ser baixo, em termos de comparação dos dois métodos foi possível tirar algumas ilações válidas e que serão consolidadas com a maturação do procedimento.

Através dos ensaios realizados, verificou-se que os valores de limite de liquidez determinados através do dispositivo de concha de Casagrande são, em média, inferiores cerca de 5 % relativamente aos obtidos através do cone penetrometro. Embora apresentando pequenas variações do limite de liquidez, tanto a concha de Casagrande como o cone penetrometro apresentaram resultados dentro da grama de valores espectável.

No entanto, é possível apontar algumas vantagens do método cone penetrometro, relativamente à concha de Casagrande:

- Eliminação da influência humana na operação do dispositivo. O cone penetrometro é automatizado, apenas sendo necessário colocar a amostra na cápsula e premir o botão que faz soltar o cone para que penetre na amostra. O operador apenas tem de ler a penetração inicial e final. A determinação do limite de liquidez com a concha de Casagrande tem uma forte influência do operador que tem de girar a manivela a uma cadência de 2 voltas por segundo, e parar quando a base do sulco se unir numa extensão de cerca de 1 cm. Ou seja, além de não ter uma exatidão na sua obtenção, os

resultados poderão ter uma ligeira variação de operador para operador para uma mesma amostra.

- O facto do cone penetrometro ser um ensaio estático também oferece vantagem sobre o da concha de Casagrande.
- Por fim, verificou-se que, em todos as amostras ensaiadas, a correlação apresentada nos ensaios com o dispositivo cone penetrometro é superior à dos ensaios efetuados com a concha de Casagrande conferindo-lhe uma melhor exatidão nos resultados.

Em suma, a metodologia do cone penetrometro apresentou uma maior exatidão de resultados em contraponto com a da concha de Casagrande, e deverá ser este o principal método a utilizar na determinação do limite de liquidez no Laboratório de Sedimentologia de Geologia Marinha.

No sentido de obter uma maior série de resultados para validação e treino do método, este estudo irá continuar com ensaios de mais amostras de sedimentos lodosos marinhos.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- British Standard BS 1377-2 (1990). *Methods of test for Soils for civil engineering purposes – Part 2: Classification tests*. British Standard Institution, London, UK.
- Das, Braja M. (2011). *Principles of Geotechnical Engineering*. 7th edition, Cengage Learning, USA, 816 p.
- ISO/TS 17892-12 (2004). *Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 12: Determination of Atterberg Limits*. ISO, Switzerland.
- Lambe, T. W. and Withman, R. V. (1969). *Soil Mechanics*. John Wiley & Sons, London, UK
- Norma Portuguesa definitiva NP-143 (1969). *Solos: Determinação dos limites de consistência*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Spagnoli, G. (2012). Comparison between Casagrande and drop-cone to calculate liquid limit for pure clay. *Canadian Journal of Soil Science*, 859-864 p.
- Sousa, P. (2011). *Limite de liquidez – Correlações entre os métodos de fall cone e da concha de Casagrande*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica (Geotecnia), UNL, Lisboa, 111 p.
- Sousa, P, Lamas, P e Santana, M. T. (2014). Limite de liquidez de dois solos argilosos distintos – uma comparação dos valores obtidos pelos métodos do fall-cone e da concha de Casagrande. *14º Congresso Nacional de Geotecnia*, Covilhã.

## An Integrated Approach for Flood Risk Assessment in Estuaries

P. Freire, <sup>(1)</sup>, A. Tavares <sup>(2)</sup>, A. Fortunato <sup>(1)</sup>, A. Oliveira <sup>(1)</sup>, M. Cardoso <sup>(1)</sup> and P. Pires <sup>(3)</sup>

- (1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Av. do Brasil, 101 1700-066 Lisboa. pfreire@lnec.pt  
 (2) Centro de Estudos Sociais, Universidade de Coimbra. Largo D. Dinis, Apartado 3087 3001-401 Coimbra  
 (3) Autoridade Nacional de Proteção Civil. Av. do Forte em Carnaxide 2794 - 112 Carnaxide

**Abstract:** Floods in estuaries are associated to different hazard sources, such as high tide levels, storm surges and large fresh water discharges. In adjacent urban areas, the impact of estuarine high water levels is often amplified due to inadequate drainage conditions. As requested by the European Directive on Floods, flood risk assessment and management is becoming a priority as the effects of climate change and the growth of exposed population will increase inundation vulnerability. An integrated approach for flood risk assessment was developed, in which inundation for different climate scenarios and return periods is evaluated through estuarine and urban drainage numerical modelling. Exposed elements assessment, including population, infrastructures and environmental resources, supports territorial vulnerability mapping, and risk is analysed considering different spatial scales (regional and local) and territorial topologies (urban and interface). Results will contribute to improve the understanding of estuarine inundation processes and to develop adequate flood risk management guidelines.

**Key words:** numerical modelling, climate change, territorial vulnerability, management guidelines, alert and warning system

### 1. INTRODUCTION

Estuarine margins are particularly vulnerable to floods from different sources. High water levels in estuaries result from extreme conditions such as the coincidence of high tidal levels with storm surge episodes or with large fresh-water discharges (Townend and Pethick, 2002). In adjacent urban areas estuarine water levels can constrain surface and sewer drainage systems capacity, particularly during episodes of intense and concentrated in time rainfall. Rising sea levels and more extreme climate conditions (IPCC, 2013; Vermer and Rahmstorf, 2009; Rahmstorf, 2010) will increase the inundation hazard in estuarine margins. In the presence of this complex phenomenon flood risk assessment in estuaries is not compatible with the methodologies applied to coastal and fluvial areas and specific approaches for estuarine environments should be developed.

The project MOLINES - *Modelling floods in estuaries. From the hazard to the critical management*, presented in this paper, aims to improve the understanding of inundation processes in estuaries, to assess flood risk of estuarine margins with different typologies and from different sources, and to develop flood risk management guidelines that are adequate for transition areas. In this project, flooding in adjacent areas of estuaries is addressed considering the different hazards in an integrated way, with reference to the contribution of the EU/EXIMAP (2007), as well as the objectives of the European Directive on Floods. Due to its socioeconomic relevance and particular hydro-

morphological characteristics, the Tagus estuary was chosen as study area.

### 2. CASE STUDY

The Tagus estuary, located in the Portuguese west coast (Fig. 1), is one of the largest estuaries in Europe with an area of about 320 km<sup>2</sup>. The estuary is included in the territorial unit of Lisbon and Tagus Valley, involving 18 municipalities in the metropolitan area of Lisbon, with about one million inhabitants directly or indirectly exposed (INE, 2012). Its margins are intensively occupied and include the most important infrastructures, equipment and strategic services on national level. Occupation contrasts are evident on its margins: in the western and northern sides urban (34% of the total margin area) and industrial/port facilities (24%) are the dominant types of occupation, while agriculture (35%) and isolated towns occupy the most area of its eastern and southern margins (Rilo *et al.*, 2012).

The estuary presents a complex morphology, with a deep and narrow inlet channel and a broad and shallow inner basin, where the intertidal area is about 43% of the total estuarine surface (Nogueira Mendes *et al.*, 2012). These particular characteristics control tide propagation within the estuary, promoting tidal amplitude increase towards upstream due to resonance effects (Fortunato *et al.*, 1999). By its narrow entrance, the inner estuary is protected from ocean wave incursion, but its elongate shape in the prevailing wind direction, from the northeast, promotes local generation of waves (Freire and Andrade, 1999; Freire *et al.*, 2009). The main source of fresh water into the estuary is the



Tagus River with an average discharge of about  $370 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Neves, 2010).

The particular morphological settings of the Tagus estuary and its hydrodynamic conditions promote high risk to estuarine margins flooding (Vargas *et al.*, 2010; Rilo *et al.*, 2013), well-illustrated in past events, as the February 15<sup>th</sup> 1941 windstorm that caused high human casualties and property damages along the estuarine margins (Muir-Wood, 2011).

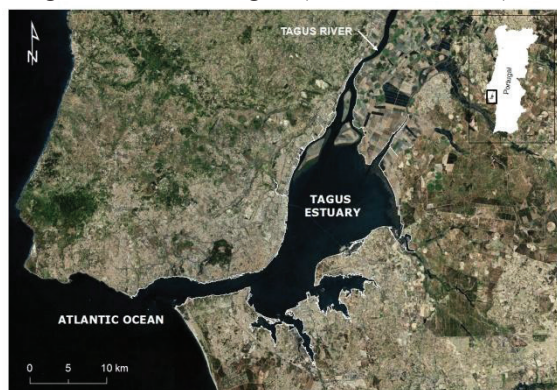


Fig. 1. Location of the Tagus estuary (image from: Bing Maps Aerial Imagery Web Mapping Service).

### 3. METHODOLOGICAL APPROACH

The methodological approach of MOLINES project is grounded in four interlinked work blocks (Fig. 2), and develops into two different spatial scales, at the estuary and local levels. The approach will assume a scenario of anthropogenic development contention for land occupation dynamics, and considers the climate scenarios defined by international and national studies (IPCC, 2013; Santos and Miranda, 2006).

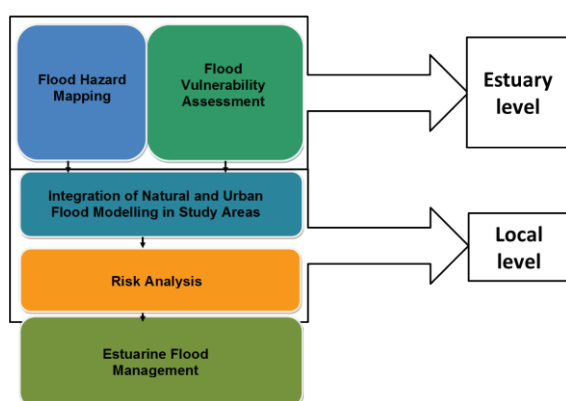


Fig. 2. Methodological approach followed in MOLINES project.

#### 3.1. Flood hazard mapping

To improve the understanding of how past flood events affected estuarine margins and which are the flood forcing dominant factors, a geographic database of historical flood events that affected estuarine margins is constructed through the analysis of the accessible information, including newspaper, technical and scientific publications, and municipal

and civil protection records. The possible flood drivers (tide, storm surge, wind, waves, precipitation and fresh-water discharges) of selected higher impact events were evaluated and the results used to validate the models results.

The flood-prone area extension of the estuary is predicted through a hydrodynamic numerical model, forced by tide and storm surge, considering different return periods and sea level rise scenarios. Flood hazard map are constructed, following the good practices recommendation from EU/EXIMAP (2007), based on the predicted inundation levels and a detailed digital elevation model (DEM) updated with the topographic and bathymetric available information. The inundation extension is analysed and compared with the historical flood events information.

#### 3.2. Flood vulnerability assessment

To support the vulnerability analysis, the evaluation of estuarine exposed elements includes: the exposed population (resident and floating) and commuting flows; the identification and characterization of built infrastructure and equipment installed; vital services and functions to society as the critical elements associated with the civil protection and emergency management; present environmental elements. To compare the territorial exposure to estuarine floods, a composite community vulnerability index based on a set of indicators and supported by a descriptive statistics, is built. The contrasts between inundation-prone areas are expressed by the cartographic classification of the estuarine vulnerability index (Chen *et al.*, 2013).

#### 3.3. Integration of natural and urban flood modelling in study areas

Due to the territorial diversity of the Tagus estuary, a refinement of territorial typologies is important to completely characterize the flood hazard and risk consequences. Therefore, two territorial typologies were identified as representative of that diversity: urban and interface areas (Freiria and Tavares, 2011). The latter are defined as natural regions on which human presence is persistent due to the natural resources of those areas, e.g. salt pans, old tide mills or aquaculture structures and even agriculture parcels (Bossard *et al.*, 2000).

The historical data information, the hazard and vulnerability mapping results allow the identification of the most urban and interface vulnerable areas to flood. These areas are studied within a detailed scale, using an innovative approach that combines estuarine hydrodynamic and urban drainage modelling. A set of simulations are carried out taking into account different rainfall event intensities and different estuary water levels, in order to

forecast inundation levels, velocity and extension of flooding events.

#### 3.4. Risk analysis

Flood hazard assessment for the detailed study areas are based on the numerical modelling results. The hazard assessment takes into account different parameters such as spatial-temporal development, severity and likelihood of occurrence. As this analysis is integrated in a Geographic Information System (GIS) and stored in a layers database, it is possible to obtain a cartographic representation of the consequences and therefore getting a framework hazard vision, as result of an integration of the standardized classes.

Risk assessment involves the evaluation of the human exposure, the sturdiness and characteristics of structures affected, and the characterization of the intrinsic characteristics of the social vulnerability and the affected societal (social, economic, cultural, civil protection) functions. The results provide an innovative integrated index for damage evaluation for each study area, considering the different territorial typologies (urban and interface). This damage index, providing information on the consequences of flood events, is integrated with the probability of events occurrence (return periods) to assess flood risk of the study areas (Santos *et al.*, 2014).

#### 3.5. Estuarine flood management guidelines

With the previous results, a consistent knowledge of the flooding processes and impacts on the study system is obtained, which assures a design of new integrated management measures that can be applied to other areas. The aim of these management vectors, which are supported by new scientific data and models, is assessing two different scales of intervention, municipal and regional, framed by the Municipal Master Plans and the Regional Master Plan, the Estuarine Managing Plan and the associated coastal plans under revision.

These guidelines consider three different management vectors: preventive measures related to land use and occupation planning; proposal of some structural and non-structural actions for flood severity reduction and for impact mitigation on the different spatial patterns; improvements on the alert and warning system, based on the extension of an existing real-time forecast platform to inundation purposes (Rodrigues *et al.*, 2013). Improvements on the alert and warning system are based on predictions of threshold water level, provided by the extension of the existing nowcast-forecast system of the hydrodynamics of the Tagus estuary (<http://ariel.lnec.pt>) to inundation purposes.

## 4. FINAL REMARKS

A new methodological approach to address flood risk analysis in estuaries, due to several drivers (tide, storm surge, wind, waves, precipitation and fresh-water discharges), is under development in the MOLINES project.

The main innovative aspects of this methodology are the integration of different strategies that are typically used independently in flood risk analysis, as estuarine hydrodynamic modelling and urban drainage modelling, and the use of two different spatial scales of analysis (estuarine and urban).

The research objectives provide a regional level of analysis whose results support and implement the objectives of the European Floods Directive and are in line with the main national strategies as the National Strategy for Sustainable Development, the National Program of Policy Territorial Planning Policies, or the National Program for Climate Change.

### Acknowledgements

This work is funded by the Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), project *MOLINES - Modelling floods in estuaries. From the hazard to the critical management* (reference PTDC/AAG-MAA/2811/2012).

## REFERENCES

- Bossard, M., Feranec, J., and Otahel, J. (2000). Corine land cover technical guide. *Addendum*. Technical Report, 40. Copenhagen: EEA.
- Chen, W., Cutter, S., Emrich, C. and Shi, P. (2013). Measuring Social Vulnerability to Natural Hazards in the Yangtze River Delta Region, China. *International Journal of Disaster Risk Science*, 4(4): 169-181.
- EU/EXIMAP (2007). *Handbook on good practices for flood mapping in Europe*. Netherlands, 57p.
- Fortunato, A.B., Oliveira, A. and Baptista, A.M. (1999). On the Effect of Tidal Flats on the Hydrodynamics of the Tagus Estuary, *Oceanologic Acta*, Vol. 22/1, 31-44.
- Freire, P. and Andrade, C., (1999). Wind-induced sand transport in Tagus estuarine beaches. First results. *Aquatic Ecology*, 33(3), 225–233.
- Freire, P., Ferreira, Ó., Taborda, R., Oliveira, F.S.B.F., Carrasco, A.R., Silva, A., Vargas, C., Capitão, R., Fortes, C.J., Santos, J.A. and Coli, A., (2009). Morphodynamics of fetch-limited beaches in contrasting environments. *Journal of Coastal Research*, SI 56, 183-187.
- Freiria, S. and Tavares, A. (2011). Towards the acknowledgment of the urban-rural interface as a

- spatial category. *International Journal of Energy and Environment*, 2(5), 292-300.
- INE (2012). *Census (2011). Definitive results – Region of Lisbon*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal, 320 p (in Portuguese).
- IPCC, 2013. *Climate Change (2013). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Muir-Wood, R. (2011). The 1941 February 15th Windstorm in the Iberian Peninsula. *Trébol*, 56, 4-13.
- Neves, F.S. (2010). *Dynamics and hydrology of the Tagus estuary: results from in situ observations*. Ph.D. Thesis, University of Lisbon, Portugal, 210p.
- Nogueira Mendes, R., Ceia, R., Silva, T., Rilo, A., Guerreiro, M., Catalão, J., Taborda, R., Freitas, M. C., Andrade, A., Melo, R., Fortunato, A.B. and Freire, P., (2012). Remote sensing and intertidal cartography. Contribution of the MorFeed project. *Actas das 2. as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, 341-344, Instituto Hidrográfico (in Portuguese).
- Rahmstorf, S. (2010). A new view on sea level rise: *Nature Reports Climate Change*, 4, 44-45.
- Rilo, A., Freire, P., Ceia, R., Mendes, R.N., Catalão, J. and Taborda, R. (2012). Human effects on estuarine shoreline decadal evolution. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 14, EGU2012-10863, 2012, EGU General Assembly 2012.
- Rilo, A., Freire, P., Guerreiro, M., Fortunato, A.B., Taborda, R. (2013). Estuarine margins vulnerability to floods for different sea level rise and human occupation scenarios. *Journal of Coastal Research*, SI 65, 820-825.
- Rodrigues M., Costa J., Jesus G., Fortunato A.B., Rogeiro J., Gomes J., Oliveira A. and David L.M. (2013). Application of an estuarine and coastal nowcast-forecast information system to the Tagus estuary. *Proceedings of the 6th SCACR – International Short Course/Conference on Applied Coastal Research*, 10 pp.
- Santos, F.D. and Miranda, P. (2006). *Climate change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – Project SIAM II*. Gradiva, Lisboa, 2006. 506pp (in Portuguese).
- Santos, P., Tavares, A., and Zêzere, J. (2014). Risk analysis for local management from hydro-geomorphologic disaster databases. *Environmental Science & Policy*. DOI: 10.1016/j.envsci.2013.12.007
- Townend, I. and Pethick, J. (2002). Estuarine flooding and managed retreat. *Society* (2002), Volume: 360, Issue: 1796, Pages: 1477-1495.
- Vargas, C., Oliveira, F.S.B.F., Oliveira, A. and Charneca, N. (2008). Flood Vulnerability analysis of an estuarine beach: application to Alfeite Sand Spit (Tagus Estuary). *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 8 (1), 25-43 (in Portuguese).
- Vermer, M. and Rahmstorf, S. (2009). Global sea level linked to global temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106 (51), 21527-32.

# Suscetibilidade à inundação de margens estuarinas. Aplica o   baia do Seixal (estuário do Tejo, Portugal)

A. Rilo<sup>(1)</sup>, A. Fortunato<sup>(1)</sup>, P. Freire<sup>(1)</sup>, K. Li<sup>(1)</sup> e A. Tavares<sup>(2)</sup>

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). arilo@lnec.pt

(2) Centro de Estudos Sociais, Universidade de Coimbra (CES-UC).

**Resumo:** As áreas marginais estuarinas são, normalmente, densamente povoadas, possuindo atividades com elevado valor econ mico e concentra o de infraestruturas críticas. Os processos de inunda o nestas áreas devem-se   conjuga o de fatores como caudais fluviais, maré e eventos de sobreleva o meteorológica. A previsível subida do nível médio do mar (NMM) e o aumento da frequência de ocorrência de eventos extremos são fatores relevantes na gestão destas zonas e que devem ser considerados na defini o de medidas de gestão, tal como definido na Diretiva Europeia de Inunda es. Este trabalho avalia a suscetibilidade   inunda o da baia do Seixal, para diferentes períodos de retorno e para um cenário extremo de subida do NMM. Os níveis de água foram obtidos através de modela o hidrodinâmica e implantados num Modelo Digital de Eleva o com a informa o relativa ao uso do solo. Os resultados permitiram determinar a extensão das áreas potencialmente inundadas por classe de uso do solo.

**Palavras-chave:** estuários, nível médio do mar, sobreleva o meteorológica, áreas inundáveis, uso do solo.

## 1. INTRODU O

De forma geral as zonas marginais a estuários possuem baixa altitude, sendo densamente povoadas, e possuindo grande diversidade de usos com elevado valor socioecon mico. Nestas áreas o processo de inunda o ocorre devido   conjuga o de vários fatores, nomeadamente, níveis de maré elevados, caudais fluviais extremos e eventos de sobreleva o meteorológica. Por outro lado previsões genericamente aceites (Solomon *et al.*, 2007) apontam para a subida do nível médio do mar (NMM). De uma forma geral   apontada uma tendência para o aumento da frequência de eventos extremos, nomeadamente fen menos de sobreleva o meteorológica muito embora Ribeiro *et al.* (2012) tenha mostrado uma tendência de diminui o no caso da costa portuguesa, indicando que as tempestades tenderão a deslocar-se para norte.

Portugal encontra-se atualmente vinculado ao cumprimento da Diretiva Europeia de Inunda es que prevê que os estados membros desenvolvam cartografia de risco de inunda o e diretrizes de gestão para os sistemas ribeirinhos e costeiros de cada país. Assim, torna-se relevante conhecer a suscetibilidade   inunda o das áreas marginais estuarinas. O presente trabalho avalia a suscetibilidade   inunda o da baia do Seixal considerando dois períodos de retorno diferentes (20 e 100 anos) para os fatores forçadores maré e sobreleva o meteorológica e ainda um cenário de subida do NMM.

## 2. ZONA DE ESTUDO

### 2.1 O estuário do Tejo

O estuário localiza-se na costa ocidental portuguesa desenvolvendo-se desde a embocadura até cerca de 50 km, limite montante da intrusão salina (Figura 1).

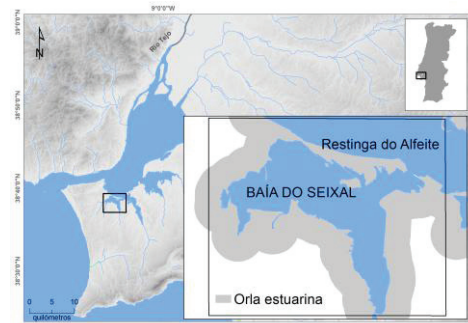


Figura 1. Enquadramento da baia do Seixal no estuário do Tejo

Do ponto de vista morfológico possui uma área de cerca de  $34 \times 10^3$  ha dos quais cerca de 43% são áreas intertidais (Nogueira Mendes *et al.*, 2012). Estas áreas localizadas no sector interior do estuário são pouco profundas e fundamentalmente ocupadas por rastos de maré e sapais. O sector interior encontra-se ligado ao oceano atlântico através de uma canal de embocadura estreito e profundo cujas cotas atingem os 34 m (ZH).

Do ponto de vista hidrodinâmico, o estuário possui uma maré semidiurna e pode ser classificado como um estuário mesotidal, sendo que a amplitude de maré possui uma varia o entre 0,75m, em Cascais em maré morta, e 4,3m, a montante em maré viva devido   amplifica o das constituintes semidiurnas por efeito de ressonância (Fortunato *et al.*, 1999). O estreito canal de embocadura impede a propaga o



de ondas oceânicas para o interior do estuário (Freire, 2003). No entanto, a extensão e orientação da área interna do estuário aos ventos dominantes (quadrantes NE - NW) proporcionam condições para a geração local de ondas (Freire e Andrade, 1999). O principal afluente ao estuário é o rio Tejo cujo caudal fluvial médio em Almourol é de 310 m<sup>3</sup>/s (Rilo *et al.*, 2014).

Nas margens do estuário do Tejo desenvolve-se a na região de Lisboa onde reside 26,7% da população do país (INE, 2012).

### 2.2 A baía do Seixal

A baía do Seixal localiza-se na margem sul do estuário do Tejo (Figura 1) e desenvolve-se numa área com cerca de 482 ha (Freire, 2003). A baía é abrigada pela restinga do Alfeite e comunica com o estuário através do canal do Seixal, sendo o rio Judeu o afluente fluvial mais importante que desagua na baía. No seu interior desenvolve-se uma importante área de sapal (sapal de Corroios) e raso de maré. A baía é enquadrada pelo concelho do Seixal, que segundo dados recentes (INE, 2012) registou um crescimento populacional de 5,3%. A área marginal da baía é ocupada por áreas urbanas e industriais, sendo igualmente importante a área natural correspondente à restinga do Alfeite.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1. Modelação numérica dos níveis extremos e cenário de subida do nível médio do mar

Os níveis extremos no estuário do Tejo foram determinados através de uma análise estatística dos dados do marégrafo de Cascais, seguida da aplicação de um modelo hidrodinâmico. A metodologia está descrita em detalhe em Fortunato *et al.* (2013), e uma aplicação preliminar ao estuário do Tejo é apresentada em Guerreiro *et al.* (2013). Selecionaram-se inicialmente os registos anuais completos de dados de níveis do marégrafo de Cascais. Os residuais, definidos como a diferença entre as observações e a síntese harmónica de maré, foram depois calculados para cada um desses anos (24 anos, neste caso). Geraram-se depois séries anuais de níveis, sintéticas, somando a maré aos residuais obtidos atrás. Para tal, fez-se variar:

- A maré astronómica para um conjunto de 19 anos consecutivos. Desta forma, teve-se em consideração o ciclo de variabilidade da maré, de cerca de 18,7 anos;

- Os resíduos, com defasagens variáveis relativamente à maré. Estas defasagens variam com intervalos de uma hora entre mais e menos 15 dias, garantindo assim que uma determinada sobre-elevação medida possa ocorrer em qualquer instante no ciclo de maré viva - maré morta.

Uma análise estatística das 328320 (i.e. 24x19x30x24) séries hipotéticas anuais assim

obtidas permitiu determinar os níveis associados a diferentes períodos de retorno e as séries temporais correspondentes. Finalmente, estas séries foram usadas para forçar um modelo hidrodinâmico do estuário.

A propagação da maré e das sobrelevações foi simulada com o modelo SELFE (Zhang e Baptista, 2008). A malha de cálculo cobre todo o estuário até à Linha da Máxima Preia-Mar de Águas Vivas Equinociais (LMPMAVE) e, em zonas seleccionadas, estende-se até à cota 5 (m, NMM) com uma resolução da ordem dos 30 m. O modelo foi devidamente calibrado, obtendo-se excelentes resultados (Guerreiro *et al.*, 2013). O cenário de subida do NMM considerado foi de 1,5m e baseou-se em análise bibliográfica (e.g. Solomon *et al.*, 2007; Rahmstorf, 2010) correspondendo ao valor central de várias estimativas publicadas. Os níveis máximos obtidos para os diferentes períodos de retorno e subida do NMM foram extraídos dos resultados do modelo e transpostos para nível médio (considerado 2,08 m acima do ZH).

### 3.2. Situação de referência

A situação de referência a partir da qual se avaliou a suscetibilidade à inundação na área de estudo foi a Linha da Máxima Preia-Mar de Águas Vivas Equinociais (LMPMAVE), correspondente ao limite entre leito e margem segundo a Lei 54/2005 de 15 de novembro. A LMPMAVE foi vetorizada sobre os ortofotomapas de 2007 (com 0,5 m de resolução espacial) da Direção Geral do Território (DGT), e a metodologia e critérios do seu traçado encontram-se descritos em Rilo *et al.* (2014).

A área terrestre considerada para avaliar a suscetibilidade foi a orla estuarina (Figura 1) que se encontra definida no decreto-lei 129/2008 de 21 de Julho como: “*corresponde a uma zona terrestre de proteção cuja largura é fixada (...) até ao máximo de 500 m contados a partir da margem (...)*”, sendo a margem a faixa de terreno contígua ao leito e cuja largura na área de estudo é de 50 m. Assim, neste trabalho avaliou-se a suscetibilidade à inundação de uma faixa terrestre de 550 m para o interior da LMPMAVE.

### 3.3. Modelo digital de elevação e cartografia de uso do solo

O Modelo Digital de Elevação (MDE) da zona de estudo foi extraído do MDE das Zonas Costeiras de Portugal continental cedido pela DGT com uma grelha de 2 m obtida por correção de pares estereoscópicos de fotografia aérea digital de 2008.

A cartografia de uso do solo utilizada baseou-se nos ortofotomapas de 2007 (com 0,5 m de resolução espacial) da DGT, adotando uma simplificação da classificação do Corine Land Cover, segundo Freire *et al.* (2012), tendo sido cartografadas as áreas de

ocupação com base nas características detetadas à escala 1.10 000.

#### 3.4. Extração das áreas suscetíveis à inundação

No sentido de avaliar a suscetibilidade à inundação foram considerados três cenários distintos: 1) período de retorno do forçamento (maré e sobrelevação) de 20 anos; período de retorno do forçamento de 100 anos; período de retorno do forçamento de 100 anos com subida do NMM de 1,5 m.

Numa primeira fase foi criado o mosaico do MDE para a área de estudo. Os níveis máximos extraídos do modelo para cada cenário foram importados para o *software* ArcGIS e cruzados com o MDE de modo a obter a cota do terreno correspondente. Posteriormente foi calculada a diferença entre o nível máximo e a cota do terreno (altura da coluna de água). Foi criado um TIN (*Triangulated Irregular Network*) das alturas da coluna de água e extraída a linha de valor igual a zero. Esta linha corresponderá ao limite da área inundada.

Este limite foi sobreposto à cartografia de uso do solo da orla estuarina (área total na zona de estudo de 7,8km<sup>2</sup>). Posteriormente foram extraídos os valores de área potencialmente inundada por classe de uso do solo e transformados em percentagens relativas aos 7,8 km<sup>2</sup> de área.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos mostram a suscetibilidade à inundação na baía do Seixal e apontam para que 8,8% da área marginal à baía do Seixal possa ficar inundada quando se considera um cenário com período de retorno de 20 anos e que 9,9% será potencialmente inundada considerando um cenário de 100 anos. Num cenário com período de retorno de 100 anos e subida do NMM a percentagem de área potencialmente inundada sobe para 20,5% (Figura 2).

Em termos de classes de ocupação e considerando o cenário com período de retorno de 100 anos os espaços naturais e urbanos serão os mais afetados com 8% e 1,2% de área inundada. No entanto, os resultados para o mesmo cenário com subida do NMM mostram que a percentagem de área urbana potencialmente inundada sobe para 5,2%, e a relativa aos espaços industriais de 0,4% para 1,4% e espaços verdes de 0,3% para 2,8%.

A restinga do Alfeite, ocupa grande parte da classe de uso “espaço natural” e fica potencialmente inundada nos dois cenários que não consideram a subida do NMM embora permaneçam pequenas zonas emersas (Figura 2a). No cenário com subida do NMM a restinga fica completamente inundada (Figura 2b).

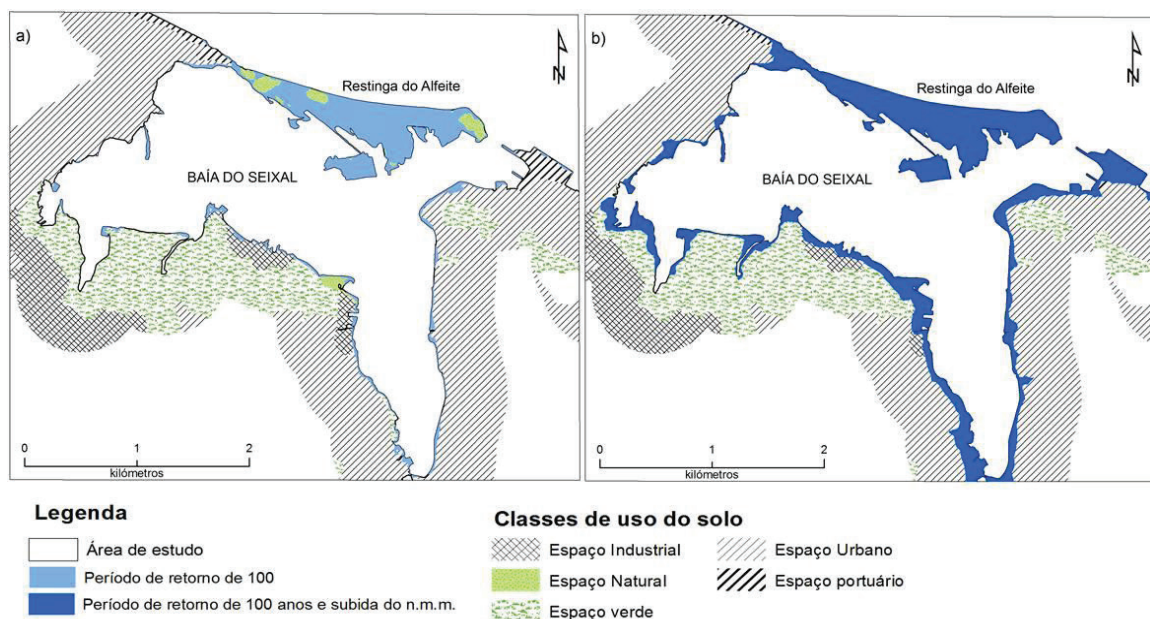


Figura 2. Cartografia de suscetibilidade à inundação na baía do Seixal para o cenário com período de retorno de 100 anos (a) e para o cenário correspondente a um período de retorno de 100 anos com subida do NMM (b).

Este resultado vai ao encontro do apresentado por Vargas *et al.*, 2008, para a mesma zona de estudo.

Os resultados apontam ainda para que não haja diferenças significativas nos níveis máximos obtidos para os cenários com período de retorno de 20 e 100 anos, sendo este comportamento consistente com o observado por Fortunato *et al.*, 2013 para a Ria de Aveiro. Este facto mostra o papel preponderante da

subida do NMM na suscetibilidade à inundação das margens do estuário do Tejo.

Este trabalho mostra a importância de considerar cenários de subida do NMM na produção de cartografia de suscetibilidade e vulnerabilidade à inundação, muito especialmente em sistemas estuarinos cujo forçamento e características hidrodinâmicas são significativamente diferentes das

consideradas em sistemas fluviais. Por outro lado, uma parte significativa das margens do estuário são espaços urbanos pelo que futuras metodologias de abordagem deverão ter em conta os efeitos de níveis elevados nos sistemas de drenagem urbana.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho aborda a suscetibilidade à inundação da área marginal da baía do Seixal (estuário do Tejo) considerando dois cenários com períodos de retorno associados ao forçamento (maré e sobrelevação meteorológica) de 20 e 100 anos e um cenário de subida do NMM.

Os resultados mostram que cerca de 9,9% da área orla estuarina na área de estudo será afetada para um cenário com período de retorno dos forçamentos de 100 anos e que 20,5 % da orla é suscetível à inundação quando se considera o mesmo cenário com subida do NMM.

Os resultados mostram ainda que não são significativas as diferenças entre os cenários que consideram os períodos de retorno de 20 e 100 anos, enfatizando a relevância do efeito da subida do NMM na suscetibilidade à inundação nas margens do estuário do Tejo.

## Agradecimentos

Este trabalho foi um contributo para o projeto Molines (PTDC/AAG/MAA/2811/2012), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia. Os autores agradecem à Direção Geral do Território a cedência da informação altimétrica e à Câmara Municipal do Seixal pela cedência de batimetria da baía do Seixal.

## REFERÊNCIAS

- Freire, P. (2003). Evolução morfo-sedimentar das margens estuarinas. Estuário do Tejo, Portugal. 380 p., LNEC, Lisboa, Portugal.
- Freire, P.; Andrade, C. (1999). Wind-induced sand transport in Tagus estuarine beaches. First results. *Aquatic Ecology*, 33(3):225-233.
- Freire, P.; Rilo, A.R.; Ceia, R.; Mendes, R.N.; Catalão, J.; Taborda, R.; Melo, R. (2012). Tipificação das zonas marginais estuarinas. O caso do estuário do Tejo. *2<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal, 319-322.
- Fortunato, A.B.; Oliveira, A.; Batista, A.M. (1999). On the effect of tidal flats on the hydrodynamics of the Tagus estuary. *Oceanologia Acta*, 22(1):31-44.
- Fortunato, A.B., M. Rodrigues, J. M. Dias, C. Lopes, A. Oliveira. (2013). Generating inundation maps for a coastal lagoon: A case study in the Ria de Aveiro (Portugal), *Ocean Engineering*, 64:60-71.
- Guerreiro M., Fortunato A.B., Freire P., Rilo A., Taborda R., Freitas M.C., Andrade C., Silva T., Rodrigues M. (2013). Impacte da subida do nível médio do mar na inundação marginal no estuário do Tejo. *Atas do VII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa* (Maputo, Moçambique), 19pp.
- Instituto Nacional de Estatística (2012). *Censos 2011 – resultados definitivos – Região de Lisboa*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal, 320 p
- Mendes, R. Nogueira; Ceia, R.; Silva, T.; Rilo, A.; Guerreiro, M.; Catalão, J.; Taborda, R.; Freitas, M.C.; Andrade, C.; Melo, R.; Fortunato, A.B.; Freire, P. (2012). Detecção remota e cartografia do intertidal. O contributo do projeto MORFEED, *2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal, 341-344.
- Rahmstorf, S., (2010). A new view on sea level rise. *Nature reports Climate Change*, 4:44-45, Macmillan Publishers Limited.
- Ribeiro, N.A., Fortunato, a.B., e Rocha, A.C. (2012). Efeito das alterações climáticas no regime de agitação marítima no Atlântico Norte e costa portuguesa. *2<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal, 163-166.
- Rilo, A.; Freire, P.; Nogueira Mendes, R.; Ceia, R.; Catalão, J.; Taborda, R.; Melo, R.; Caçador, M. C.; Freitas, M.C.; Fortunato, A.; Alves, A. (2014). Metodologia para o traçado da Linha de Máxima Preia-Mar de Águas Vivas Equinociais em ambientes de transição: aplicação ao estuário do Tejo (Portugal). *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 14 (1):95-107.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) (2007). *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Vargas, C., Oliveira, F.S.B.F., Oliveira, A. E Charneca, N., (2008). Análise da Vulnerabilidade de uma Praia Estuarina à Inundação: aplicação à restinga do Alfeite (Estuário do Tejo). *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 8 (1):25-43.
- Zhang, Y. e Baptista, A.M. (2008).SELFE: A semi-implicit Eulerian Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation. *Ocean Modeling*, 21 (3-4):71-96.



## Dark grey sea foam formation in the “Norte” Beach (Nazaré)

A. Oliveira<sup>(1)</sup>, J. Duarte<sup>(1)</sup>, A. Silva<sup>(2)</sup> and R. Taborda<sup>(2)</sup>

- (1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093, Lisboa, Portugal. anabela.oliveira@hidrografico.pt  
 (2) Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016, Lisboa.

**Abstract:** The occurrence of stable white sea foam is a widely known phenomenon around the world and can be caused by the presence of organic matter on the water released by broken cells originated by phytoplankton bloom events.

In the scope of the Beach to Canyon project, results from systematic video monitoring, field and sea work at the Norte beach (2009-2013), occasionally show a brownish/dark grey atypical foam layers accumulation on the beach. The most intense episodes occurred in late spring (May to June) and are generally associated with short term high energetic events (waves higher than 4m).

The sea foam is peculiarly dark colour due to an important component of hydrocarbons residues.

In this paper we intend to trace the source of the fine particles aggregated to the sea foam and improve the understanding of the Nazaré canyon head dynamics.

**Keywords:** sea foam, Nazaré canyon, beach, waves, fuel oil, mineralogy.

### 1. INTRODUCTION

Foam is a dispersion of a gas in a liquid or solid separated by thin liquid films or lamellae (Holmberg *et al.*, 2003). In aquatic environment mechanical impact is needed to introduce air bubbles into the water, which can be caused by stormy conditions and the pounding of waves, in areas of strong currents or in areas, where fresh and salt water mixes (Ettema *et al.*, 1989; Fisenko, 2004).

The occurrence of stable white sea foam is a widely known phenomenon around the world and can be caused by the presence of organic matter on the water released by broken cells originated by phytoplankton bloom events. At the Norte beach (north of Nazaré), the occurrence of this type of sea foam is frequent due to the very energetic wave regime, and upwelling conditions enhanced by the proximity of Nazaré canyon head (fig. 1).

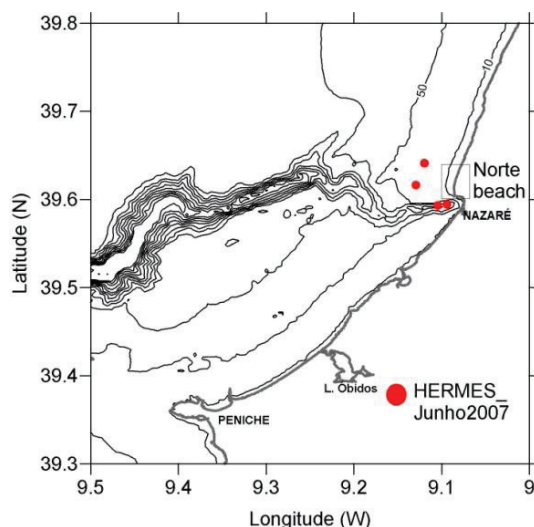


Figure 1- Norte beach and shelf sediment samples location.

In the scope of the Beach to Canyon project, results from systematic video monitoring, field and sea work at the Norte beach (2009-2013), occasionally show a brownish/dark grey atypical foam layers accumulation on the beach. The occurrence of dark grey sea foams, more limited in time and space, can indicate the presence of terrigenous particles and/or pollutants associated to the foam.

In this paper fine fraction (<63  $\mu\text{m}$ ) mineralogy of sediment samples from the beach and shelf are compared in order to trace the source of the fine particles aggregated to the sea foam. The main objective is to improve the understanding of the Nazaré canyon head dynamics.

### 2. FIELD SITE

The Norte beach (Nazaré) is located at the Portuguese west coast at north of the Nazaré canyon (fig.1). The dominant winds and swell are from the west and northwest, with predominant southern directed littoral drift.

Near the canyon evidences of local enhanced productivity were reported (Mendes *et al.*, 2011), normally associated with upwelling season that typically starts in May or June and lasts until September (Fiúza, 1983; Barton, 2001).

Superficial sediments at the Norte beach show a median grain size highly variable ranging from -2.60 to 1.79 $\phi$  (Casalho *et al.*, 2012), with absence of particles under 4 $\phi$  (fine particles).

The shelf sedimentary cover is also generally coarse-grained. Nevertheless, the presence of bottom nepheloid layers (BNL) of 10m thick is detected north of the canyon (Oliveira *et al.*, 2007).

Studies of the wave induced sediment transport on the NW Portuguese shelf revealed that the



background wave conditions occurring during the year can promote bottom sediment remobilization, mostly in the inner-middle shelf region (Taborda, 1999, Vitorino, *et al.*, 2002).

### 3. METHODS

In the Norte beach systematic video monitoring and sediment sampling was performed between December 2009 and June 2013.

Wave (height, period and directions) data were obtained by the MONICAN wave buoys.

Shelf sediment samples were collected in the Hermes cruise realized in June 2007, by IH (fig.1).

The sample of dark grey sea foam was collected in June, 20<sup>th</sup>, 2013 in the framework of the Beach to Canyon project.

In lab, the sediment samples and foam were analyzed for fine fraction mineralogy. The 14 beach samples, due to the lack of fines were previously reduced to dust (<25 $\mu$ m) using an agate mortar and pestle mill.

The semi-quantification of minerals was accomplished using X-ray diffraction (XRD) with a PANALYTICAL diffractometer and following Oliveira (2010) procedures.

In lab some fuel oil aggregates were also identified (black balls), that contribute for the dark colour of the foam.

### 4. RESULTS AND DISCUSSION

The process of sea foam formation involves that persistent wind from N-NW support upwelling in the area and allows the occurrence of phytoplankton blooms. Near shore in the breaker zone, the waves homogenise the water column and promote the mixture, between the phytoplankton broken cells and the pollutants/terrigenous particles and also introduce the necessary bubbles to the formation of foam.

In general, the video monitoring and wave data integration from 2009 and 2013, allow to observe that the accumulation of the sea foam in the Norte beach are generally associated with spring tides and short term high energetic events (waves higher than 4m). The most intense episodes occurred in late spring (May to June) (fig.2).

In the specific episode of June, 18<sup>th</sup>, 2013 (fig.2), the waves, reached the 4m, with periods ( $T_p$ ) of 11-12s, for about 7 hours, necessary condition for the formation of the sea foam

Afterwards, the sea foam was transported by swash motion, at high tide, and accumulated, in a back channel between the active beach berms and the former ones (fig.3) of the Norte beach.

In the channel area, a variety of anthropogenic debris can also be found, as plastic bottles, fishing nets, buoys, etc. (fig.4).

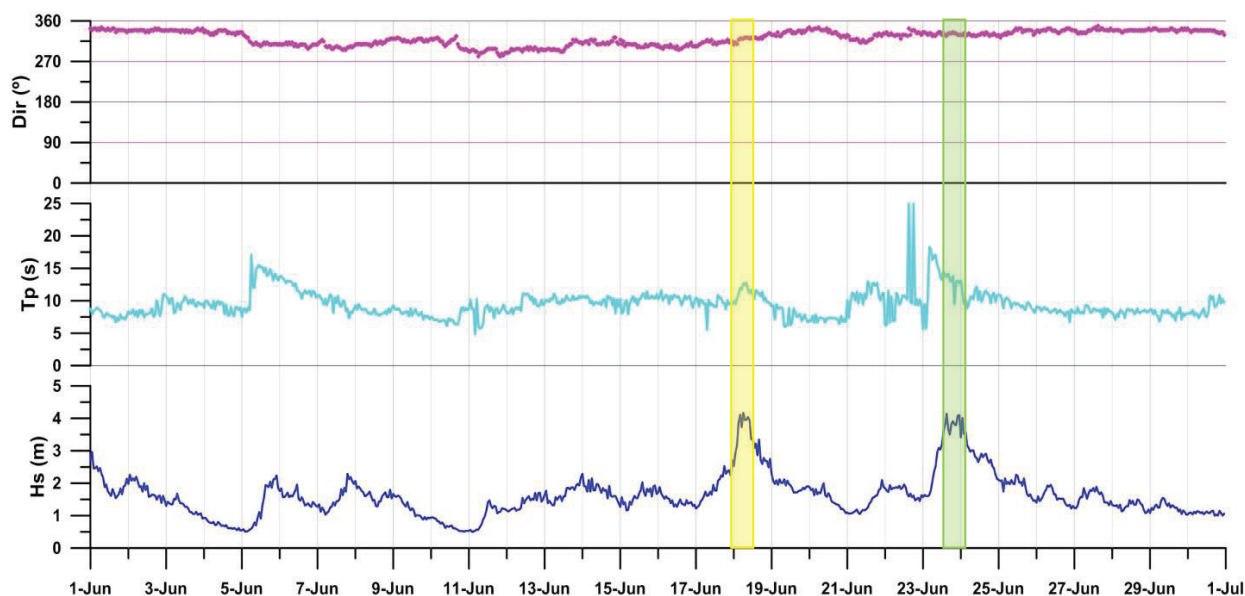


Figure 2- Wave data of June 2013 (MONICAN coastal buoy);  $H_s$ - significant height;  $T_p$ - peak period; and  $Dir$  ( $^\circ$ )-direction. In yellow, the June 18<sup>th</sup> episode of sea foam formation and in green another episode of sea foam formation (not shown).



Figure 3- Norte beach, 10 minutes average of images (13:00-13:10 local time) obtained at 20 June 2013. Dark grey sea foam well visible in the central right corner of the photo.



Figure 4- Norte beach, dark grey sea foam around a plastic bottle (20 June 2013).

The XRD analyses (fig.4) show that the foam presents a very singular mineralogical composition, mainly calcite (64%), quartz (34%), phyllosilicates (<2%) and halite (not considered in the semi-quantification, because was formed on the beach mainly by sea water evaporation), when compared with the mineralogy found in the other marine environment (shelf, canyon and beach - fig.5).

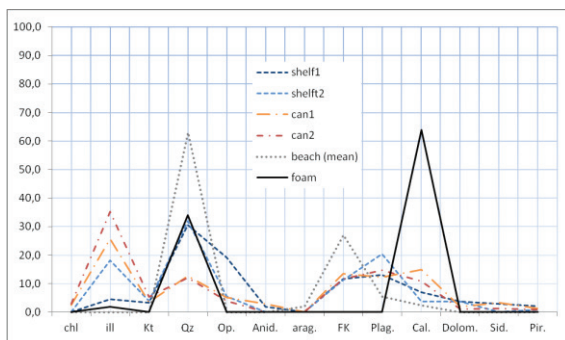


Figure 5 – Mineralogical composition of sea foam compared with shelf (shelf1 and shelf2), beach and Nazaré canyon (can1 and can2) samples.

In relation to the particulate matter from BNL samples, the main minerals are clay minerals such as

mica/illite (mean 65%, min.39%, max.79%), kaolinite (mean 19%, min.5%, max.45%) and chlorite (mean 5%, min.0%, max.12%), followed by other minerals, such as calcite (mean 5%), quartz (mean 2%), K- feldspars (mean 1%) and plagioclases (mean 1.5%) (Oliveira *et al*, 2007). The sea foam shows a completely different mineralogical signal, with almost absence of phyllosilicates and higher percentage of calcite and quartz. The important percentage of calcite, point out to the abundance of biogenic calcitic debris; the main constituent of skeletal remains (mainly coccoliths). Quartz, possible can be related with shelf/swash zone bottom sediments resuspension.

In the beach, quartz is the most abundant mineral (mean percentage of 63%) and in shelf (30-35 m depth) quartz show percentages of 30% close to the percentage found in the sea foam (fig.5).

## 5. FINAL REMARKS

The video monitoring and wave data integration permit to observe accumulation of the sea foam in the Norte beach associated with spring tides and short term high energetic events (waves higher than 4m). The most intense episodes occurred in late spring (May to June).

The X ray fine fraction mineralogy shows a dual contribution to the sea foam composition: biogenic (calcite) and terrigenous (quartz from local bottom sediments resuspension).

The dark grey sea foam reflects also the introduction of crude oil (pollutants), associated with sediments and organic remains. Future geochemical studies are needed to see if public health problems can be addressed.

## Acknowledgements

This work is a contribution of the project Beach to Canyon Head Sedimentary Processes (PTDC/MAR/114674/2009), funded by Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT).

## REFERENCES

- Barton, E., 2001. Canary and Portugal currents. In: Steele, J., Turekian, K., Thorpe, S. (Eds.), In: *Encyclopedia of Ocean Sciences*, vol. 1. Academic Press, 380–389. doi:10.1006/rwos.2001.0360.
- Ettema, R., Johnson, J.K., Schaefer, J.A., (1989). Foam-initiated ice covers on small rivers and streams: an observation. *Cold Regions Science and Technology* 16, 95-99.
- Fisenko, A.I., 2004. A new long-term on site clean-up approach applied to non-point sources of pollution. *Water, Air, & Soil Pollution* 156, 1.

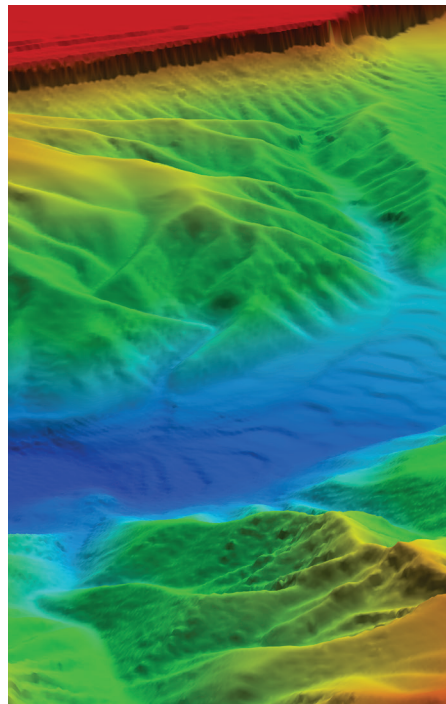
- Fiúza, A., 1983. Upwelling patterns off Portugal. In: E. Suess and J. Thie (Eds). *Coastal Upwelling: Its sediment Record*. Plenum, New York, 85-98.
- Holmberg, K., Jonsson, B., Kronberg, B., Lindman, B., (2003). *Foaming of Surfactant Solutions*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Mendes, R. Sá, C., Vitorino, J., Borges, C., Garcia, V., Brotas, V., 2011. Distribution of phytoplankton assemblages in the Nazaré submarine canyon region (Portugal) HPLC-CHEMTAX approach, *Journal of Marine Systems*. doi:10.1016/j.jmarsys.2011.03.005.
- Oliveira, A., Santos, A.I., Rodrigues, A., Vitorino, J., 2007. Sedimentary particle distribution and dynamics on the Nazaré canyon system and adjacent shelf (Portugal). *Marine Geology* 246, 105–122.
- Oliveira, A. (2010) - Programa de período experimental de Anabela T. Campos Oliveira. REL.TF.GM 02/10. *Instituto Hidrográfico*, 65p
- Taborda, R. (1999). *Modelação da dinâmica sedimentar na plataforma continental portuguesa*. PhD Thesis, Lisbon University, 366pp. (*unpublished*).
- Vitorino, J. Oliveira, A., Jouanneau, J.M. & Drago, T. (2002). Winter dynamics on the northern Portuguese shelf: Part1: Physical processes. *Progress in Oceanography*, 52 (2-4), 129-153.

# SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E GESTÃO DE DADOS DO AMBIENTE MARINHO

---

3.<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica  
Lisboa, 24, 25 e 26 de junho de 2014

---







# Bathymetry interpolation for hydrodynamic modelling

N. Basos<sup>(1)</sup>, F. Martins<sup>(1)</sup> and J. Rodrigues<sup>(2)</sup>

(1) Universidade do Algarve. nadyabasos@i.ua,

(2) Universidade do Algarve, CIMA

**Abstract:** Estuarine hydrodynamic models require management of large quantities of georeferenced information. Good quality of the spatial input data is critical for obtaining realistic model results. GIS is the most appropriate tool to process that data. In this work GIS tools were used to pre-process the model grid and bathymetry for simulating the hydrodynamics of the Guadiana Estuary. Bathymetry data were interpolated to a curvilinear grid using several different methods, including an advanced river straightening method (transformation to the along-channel coordinate system). The finite volume model MOHID with 2D configuration was used to test these methods and evaluate the associated improvements. The use of bathymetry interpolated in the channel-oriented coordinates significantly improved the direction of the water current and slightly improved the velocity modulus values. The use of GIS tools to produce model inputs proved to be a valuable aid to coastal hydrodynamic modelling increasing the model accuracy.

**Key words:** GIS, bathymetry interpolation, hydrodynamic model, Guadiana Estuary

## 1. INTRODUCTION

Estuarine hydrodynamic models always require management of large amounts of georeferenced information. Geographic information systems (GIS) can provide powerful support for numerical water modelling. In particular, GIS can help to manage, analyze and display the model spatial data. Recently, many attempts to couple GIS and hydrodynamic models are described in the literature (Naoum *et al.*, 2005; Green and King, 2003). However, most of the developers took advantage mainly from visualization capabilities of GIS, but not from advanced GIS tools for increasing the model accuracy. Good quality of the spatial input data is critical for obtaining realistic model results. Merwade *et al.* (2008) and Merwade *et al.* (2005) have discussed improving hydrodynamic model accuracy with GIS techniques by using advanced interpolation of bathymetry data for river models. The proposed method used interpolation of river cross-sections in a channel-fitted coordinate system. For that study only simple cross-validation of the interpolation was performed but no hydrodynamic model was run (Merwade *et al.*, 2008). The present study complements that methodology by real model runs. MOHID is an open-source water modelling system supporting GUI modules for model pre- and post-processing (Braunschweig *et al.*, 2004). MOHID Water module simulates flow in surface water bodies in 3D using the Finite Volume method (Martins *et al.*, 2001). For running a hydrodynamic model MOHID needs gridded (spatially discretized) bathymetry and forcing (water discharges and tide). Gridded bathymetry is a key spatial input requiring spatial data of high quality. MOHID GIS module can interpolate bathymetry point data into a computational grid, using land polygon presenting non-computing areas. In a case of a curvilinear grid, firstly a water domain polygon is needed to generate the grid.

## 2. CASE STUDY

The Guadiana Estuary is a narrow rock-bound

estuary located between Portugal and Spain. It extends for 80 km from the mouth upstream and is prolonged offshore by a submerged delta. The estuary has an average depth of about 5 m with maximum depths up to 18 m. At spring tide and low river discharge, the estuary is well-mixed. But at neap tide it is partially stratified (Garel *et al.*, 2009). The bathymetry data for the model were used from many sources (Basos, 2013). The available datasets were transformed into one coordinate system and converted into shapefiles. The data points also were clustered in a case of too dense point distribution, and joined into one dataset for future interpolation, which had about 130 000 points (Basos, 2013). The missing bathymetry data in some very shallow parts of the estuary were estimated from the orthophoto by statistical methods (Basos *et al.*, 2012, Basos, 2013). The points along the shoreline at the lower estuary were added with 0 depth value. The shoreline (water domain) was extracted from the orthophoto by image classification based on PCA of the spectral bands (Basos, 2013). A boundary-fitted curvilinear was selected for modelling the Guadiana Estuary. MOHID GIS can generate structured nearly-orthogonal curvilinear grids using a water domain polygon following the shoreline. The water polygon was imported into MOHID GIS and the curvilinear grid was generated in this domain (Basos *et al.*, 2012). The final grid dimensions were 2209x122 cells and the cell size varied from 10 m to 70 m inside the estuary and up to 300 m at the submerged delta. This grid was used to produce a gridded bathymetry using interpolation of data points into the grid cells.

## 3. BATHYMETRY INTERPOLATION

There are many studies dedicated to interpolation of bathymetry data. Most of them conclude that the best accurate method is kriging, some works suggest spline with tension (minimum curvature) and IDW methods (Medved *et al.*, 2010). There were also successful attempts to use ANUDEM method for producing bathymetry (Daniell, 2008), which is applied as Topo to Raster method in ArcGIS

software. MOHID GIS uses linear Triangulation method for grid cell centers (Basos, 2013). For interpolation of bathymetry points for the Guadiana Estuary several methods using MOHID GIS 4.9.2, ArcGIS 9.3 and Surfer 10 were tested to find the best suited for the estuary. Topo to Raster interpolation was performed using Spatial Analyst in ArcGIS with no drainage enforcement. Kriging was performed using Geostatistical Analyst in ArcGIS in the two ways. The first attempt was isotropic (a spherical model with sill 4.5 and range 200 m, the second order trend removal). But it was obvious from the semivariogram that the data had anisotropy (figure 1).

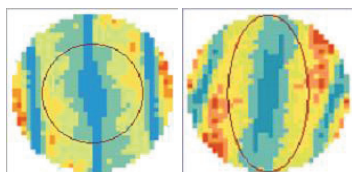


Figure 1. Semivariogram/Covariance Surface for kriging in XY coordinates (left) and in RM coordinates (right, explained below).

The bathymetry changes more slowly in the north-south direction, in general. So, the second kriging model was spherical with anisotropy angle 80 degrees, major range 200 m and minor 300 m. The interpolations were performed with cell size of 5 m. Then every interpolated raster was overlaid by the curvilinear grid polygons. Using the *Zonal statistics* tool in ArcGIS, the average values of raster cells located inside each curvilinear cell were calculated, then attached to curvilinear cell centers and imported into MOHID as model input bathymetries. IDW with different powers, triangulation and natural neighbour interpolations showed not very good, crude and unrealistic results for the estuary. Minimum curvature and kriging produced better results, and Topo to Raster the most realistic. However, it was visible on the resulting surfaces that all isotropic interpolations had artefacts on the surfaces, such as unreal hills and deep holes along the channel (figure 2). These errors occurred due to highly irregular distribution of the survey points along the ship tracks. Isotropic interpolations assume circular influence of each point. But kriging with N-S anisotropy showed not good result as well. Despite the improved bottom in the north-south aligned parts of the estuary, it produced much worse result in the curved parts of the channel which are not aligned in that direction. The red arrow in figure 2 shows one of the east-west parts of the channel where all interpolations interrupted the deep channel, producing unexisting shallow barriers and artificial hills on the shoreline. The anisotropic kriging produced even the worst result in this place. It was clear that common methods cannot interpolate a curved long estuary correctly, because anisotropy of river bottom is variable and follows the river centerline (namely, the thalweg). Bathymetry usually changes very slowly along the centerline and

rather quickly across-channel. Wadzuk and Hodges (2001) firstly proposed a methodology for straightening a sinuous river. They assumed converting the Cartesian coordinates  $X, Y$  into  $R(X, Y)$  and  $M(X, Y)$  coordinates, where  $M$  is the distance along the river centerline for any point and  $R$  is the perpendicular distance of this point from the centerline.

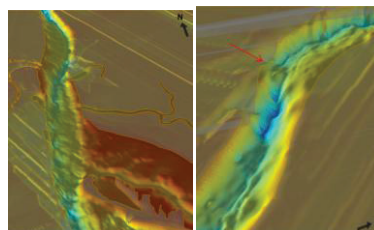


Figure 2. Kriging spherical (left) and with N-S anisotropy (right) bathymetry interpolation. The red arrow points on the unexisting shallow barrier.

Thus, a curved river can be transformed into a straight river by mapping the points in  $R$  and  $M$  coordinates (figure 3). Interpolation and other processing can be performed in this transformed  $RM$  space. Then, all the points can be transformed back to the original coordinates, so the original geometry is not affected (Merwade *et al.*, 2005). However, this back-transformation is mathematically quite complicated and cannot be done easily in GIS environment. This methodology was improved by Merwade *et al.* (2005), Merwade *et al.* (2006) and Merwade *et al.* (2008), who also compared several interpolation methods and found (using cross-validation) that anisotropic methods, after transformation into  $RM$  coordinates, performed significantly better interpolation results than regular isotropic methods (Merwade *et al.*, 2006). So, for obtaining realistic interpolation of the Guadiana estuary the bathymetry points were transformed into  $R, M$  space and there interpolation was performed with anisotropy along the centerline. The centerline was drawn from the estuary polygon using ArcGIS and converted into a "route" (Polyline  $M$ ) using the *Linear Referencing* toolbox. Then  $R$  and  $M$  coordinates were calculated to each point by the tool *Locate features along routes*, calculating distance to the route at the same time. Bathymetry points then were plotted using  $R$  instead of  $X$ , and  $M$  instead of  $Y$  coordinates (figure 4). Kriging with anisotropy in the centerline direction (figure 1) was performed using a spherical model (90 degrees, ranges 150 and 300 m). As the authors of that method showed, there was no quick, simple and correct method to transform the points (or the interpolated raster) from  $RM$  back to Cartesian coordinates using GIS. But it was even not necessary to do this for modelling. The only result needed for the MOHID model was a bathymetry value for each curvilinear grid cell. So, the grid centers and corners were also transformed into channel-oriented  $RM$  coordinates (as points).

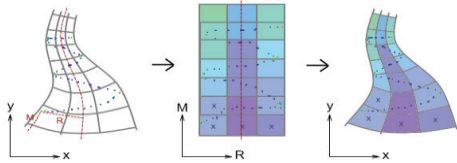


Figure 3. Transformation into channel-oriented coordinates.

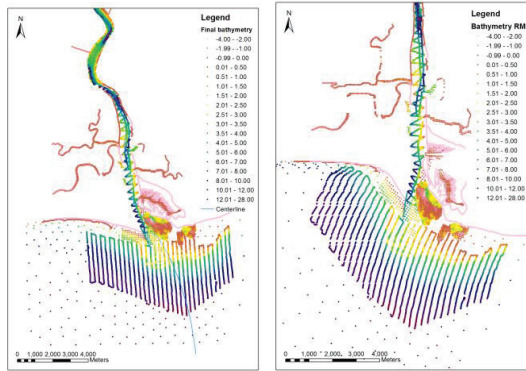


Figure 4. Bathymetry of the lower estuary: normal (left) and transformed to RM coordinates (right).

Voronoi diagram was selected as a representation of the curvilinear grid in RM space. The Voronoi polygons were created for the cell centers and clipped to the domain. Then the raster produced by kriging was overlapped by these polygons and average bathymetry value for each polygon was calculated from the overlaid raster cells by *Zonal Statistics* tool, in RM space. These average bathymetry values were attached to the curvilinear grid centers and then these centers were plotted again using their original X and Y coordinates (stored in the attribute table). Thus, a very simple and spatially correct back-transformation from RM space to XY space was performed (figure 5).

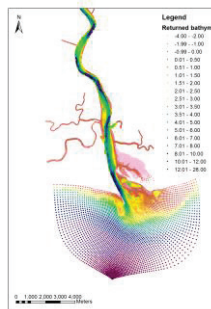


Figure 5. Back-transformed grid centers with the mean values.

The resulting surface (gridded bathymetry) was significantly different from the other interpolations. The holes and hills between the ship tracks almost disappeared and the deep thalweg was preserved everywhere (figure 6). This method produced the most realistic interpolation at the gaps in bathymetry data restoring the thalweg and the near-shore shallowing (figure 7).

#### 4. HYDRODYNAMIC MODEL

Several periods with different river flow conditions were selected for simulation. The hydrodynamic model was a 2D model, forced by tidal water elevations at the open boundary and by the river

discharge at the end of the estuary and tributaries. The daily flow values from SNIRH database were used. The MOHID code was used as compiled on the 11.04.2011 by Maretec.

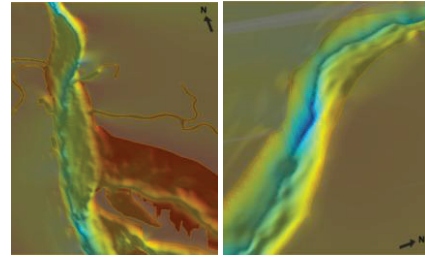


Figure 6. Surface based on kriging respecting varying anisotropy.

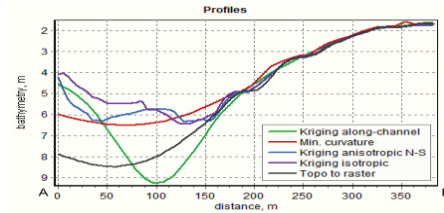


Figure 7. Comparison of a cross-section interpolations (the middle estuary).

In order to calibrate and validate the model, the results were compared to the measurements in several points along the estuary. The several input bathymetries based on the different processing methods in GIS were used for the simulations and then their results were compared. The calibration data included velocity components (N,E) integrated for the whole water column and water level data obtained from the Simpatico system (Garel *et al.*, 2011) located in the lower estuary. Also water height and along-channel velocities at the point near Ayamonte were used. The initial model was based on the grid data interpolated by MOHID's triangulation method. Then the several input bathymetries for the model were created, based on the different processing methods using GIS. They were compared to that reference model. The main test bathymetries for interpolation comparison were produced by Topo to Raster (ANUDEM) and kriging in RM coordinates methods. These changes of bathymetry almost did not change the resulting water level but significantly changed velocities, comparing to the measurements at the Simpatico station. The results showed that by applying the advanced interpolation methods the results were improved (figure 8).

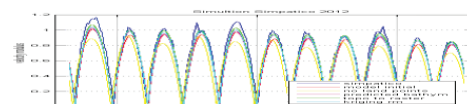


Figure 8. Comparing the models with different inputs at Simpatico station (velocity modulus).

And, the bathymetry interpolation in the channel-oriented coordinates significantly improved the direction of the current, which is visible in the change of the East velocity component (figure 9). The RMSE was calculated for each scenario, and it showed that the last model with bathymetry



interpolated after river straightening produced in general the best result (figure 10).

## 5. DISCUSSION AND CONCLUSION

The computed velocities were in good agreement with the observations under well-mixed conditions with low river flow. However, they were slightly lower than the measured, and under stratified conditions the tidal asymmetry produced by the 2D model was wrong comparing to the measurements. Also, there was only one calibration point with good dense recent data (Simpatico).

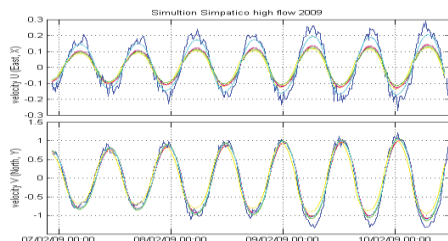


Figure 9. Comparing the models with different inputs at Simpatico station (velocity components).

The use of advanced interpolation methods improved the results (figures 8, 9). Because the current velocity in the shallow water depends on the water depth, the precisely described bottom due to correct interpolation is critical for the model. All isotropic interpolations produced artefacts on the resulting surfaces and then wrong velocity fields at these places (figure 11). The correct interpolation result was achieved only after transforming bathymetry points into flow-oriented coordinates and performing the interpolation with anisotropy along the centerline for this “straightened” estuary.

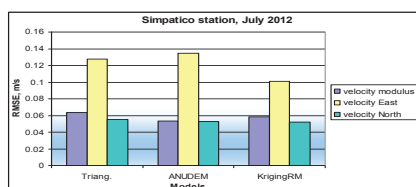


Figure 10. RMSE of the models with different inputs at Simpatico station.



Figure 11. Velocity fields using bathymetry from Topo to Raster isotropic interpolation (left) and along-channel kriging (right).

Using the channel-oriented interpolation in the model significantly improved the direction of the water current and produced correct velocity fields (figures 10, 11). The RMSE of simulated velocities showed that the model using bathymetry interpolated in the flow-oriented coordinates produced in general the best result. So, good quality of the spatial input data proved to be critical for model accuracy. Validation of the model with different scenarios showed that advanced GIS tools

are essentially needed for preparing accurate spatial inputs for coastal hydrodynamic models, improving the model results.

## Acknowledgements

The authors would like to thank Erwan Garel (CIMA, University of the Algarve) and Juan Morales (University of Huelva) for providing the data for this study.

## REFERENCES

- Basos N., Martins F. and Rodrigues J. I. (2012). Using MOHID GIS to aid hydrodynamic modeling in the Guadiana Estuary. *5as Jorn. de Soft. Aberto para S.I.G. – SASIG* 5. November 15-17, Faro, Portugal.
- Basos, N. (2013). *GIS as a tool to aid pre- and post-processing of hydrodynamic models. Application to the Guadiana Estuary*. Master thesis in Geomatics, Universidade do Algarve, Portugal.
- Braunschweig, F., Leitao, P.C., Fernandes, L., Pina, P., and Neves, R. (2004). The object-oriented design of the integrated water modelling system MOHID. *Dev.elopments in Water Science*, 55, (2), 1079-1090.
- Daniell, J.J. (2008). Development of a bathymetric grid for the Gulf of Papua and adjacent areas: A note describing its development. *J.Geoph.Res.*, 113(F01S15)
- Garel, E., Ferreira Ó. (2011). Monitoring estuaries using non-permanent stations: practical aspects and data examples. *Ocean Dynamics*, 61, 891-902.
- Garel, E., Pinto, L., Santos, A., and Ferreira, Ó. (2009). Tidal and river discharge forcing upon water and sediment circulation at a rock-bound estuary (Guadiana Estuary, Portugal). *Est.. Coastal and Shelf Sc.*, 84(2): 269-281.
- Green, D., and King, S. (2003). Chapter 21. Progress in Geographical information systems and coastal modeling: an overview. In: Lakhan, V.C. (ed.). *Adv. in Coastal Modeling*, 67, 553-580.
- Martins, F., Leitão, P.C., Silva, A., and Neves, R. (2001). 3D modelling of the Sado Estuary using a new generic vertical discretization approach. *Oceano.Acta*, 24:51-62.
- Medved, I., Pribicevic, B., Medak, D., and Kuzmanic, I. (2010). Comparison of interpolation methods of bathymetry data used for monitoring of lake volume change. (In Croatian). *Geodetski list*, 64(87) (2), 71-86.
- Merwade V.M., Maidment, D.R., and Hodges, B.R. (2005). Geospatial representation of river channels. *Journal of Hydrologic Engineering*, 10 (3), 243-251.
- Merwade, V., Cook, A., and Coonrod, J. (2008). GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping. *Environmental Modelling and Software*, 23, 1300-1311.
- Merwade, V.M., Maidment, D.R., and Goff, J.A. (2006). Anisotropic considerations while interpolating river channel bathymetry. *J.of Hydrology*, 331 (3-4), 731-741.
- Naoum, S., Tsanis, I.K., and Fullarton, M. (2005). A GIS pre-processor for pollutant transport modelling. *Env. Mod. and Soft.*, 20 (1), 55-68.
- Wadzuk, B., and Hodges, B.R. (2001). Model bathymetry for sinuous, dendritic reservoirs. *The 6th International Workshop on Phy. Proc. in Natural Waters*, University of Girona, Catalonia, Spain, June 2001.

# Desenvolvimento de um WebSIG de dados oceanográficos da Ria Formosa, Sul de Portugal

N. Simões<sup>(1)</sup>, A. Cravo<sup>(1)</sup> e J. Jacob<sup>(1)</sup>

(1) Universidade do Algarve, CIMA. nuno\_simoes58@hotmail.com.

**Resumo:** A Ria Formosa é um sistema lagunar localizado na costa sul de Portugal, com seis ligações permanentes ao oceano. No âmbito do projeto COALA foram realizadas diversas campanhas oceanográficas no interior da Ria Formosa, no decorrer das quais foram medidos diversos parâmetros físico-químicos. Os dados adquiridos ao longo destas campanhas foram armazenados em várias bases de dados. No presente trabalho, apresentamos o desenvolvimento de um WebSIG que disponibiliza vários dados adquiridos através do projeto COALA. Na implementação deste sistema, utilizaram-se softwares livres de código aberto: MapServer como servidor de mapas; Apache como servidor web e, como *framework*, o Pmapper, que corre sobre o MapServer. Outra tecnologia utilizada foi a linguagem PHP/Mapscript. Na preparação de dados utilizou-se o software de Sig, QGIS Desktop. Desta forma, este WebSIG permite aos utilizadores terem acesso a dados espaciais e não espaciais da ria Formosa, onde lhes é permitido interagir com os mesmos através de diversos controlos: Zoom Out, Zoom In, Pan, entre outros.

**Palavras-chave:** Ria Formosa, Campanhas Oceanográficas, Bases de dados Oceanográficas, WebSIG, Comunidade Científica

## 1. INTRODUÇÃO

A Ria Formosa é um sistema lagunar localizado na costa sul de Portugal, com cerca de 80 km<sup>2</sup>, 55 km de comprimento na direção E-W e 6 km de largura máxima. Este sistema apresenta 6 ligações permanentes ao oceano, que permitem uma grande renovação de água e propagação das condições oceânicas para o seu interior (Fig. 1).



Fig. 1. Setor oeste da Ria Formosa com localização das 3 principais barras, Ancão, Faro-Olhão e Armona e dos sensores de pressão, Cais comercial de Faro (CCF) e Cais da ilha Deserta (CID).

Ao longo dos anos, a Ria Formosa tem sido alvo de vários estudos em diversas áreas, particularmente a nível oceanográfico. Estes estudos, abrangem um grande leque de temáticas oceanográficas como, por exemplo, a hidrodinâmica (Jacob *et al.*, 2012 e 2013), a química e a qualidade da água, a biologia marinha (Cravo *et al.*, 2014; Newton *et al.*, 2003; Falcão e Vale, 2003), entre outras.

No projeto *COALA (Nutrients and particulate matter dynamics - exchanges between a Coastal Lagoon and the adjacent ocean through a multiple inlet system: the case of Ria Formosa, south of*

*Portugal)*, pretende-se estudar a importância das trocas de massa entre a Ria Formosa e o oceano, em função dos diversos forçamentos ambientais e das condições aí verificadas. Para tal, realizaram-se 17 campanhas observacionais de maré semidiurna, nas 3 barras do setor oeste da ria Formosa – a barra da Armona, a barra de Faro Olhão e a barra do Ancão. Em paralelo, foram colocados sensores de pressão (PT Level TROLL) para medição do nível do mar, que permitiram, igualmente, registar a temperatura no interior da ria.

Atualmente, existe pouca partilha de informação entre a comunidade científica e a sociedade em geral. Contudo, os meios de informação e comunicação são um tema principal da Estratégia Nacional para o mar (Estratégia Nacional para o Mar 2013 – 2020).

A Internet influenciou os Sistema de Informação Geográfica (SIG) em três grandes áreas: no acesso aos dados espaciais; na disseminação da informação espacial; e no processamento. O termo “WebSIG” engloba as aplicações que distribuem dados espaciais para os utilizadores através de uma página Web. Como é um método praticamente sem custos, tornou-se amplamente utilizado a nível mundial (Peng e Tsou, 2003 e Bonnici, 2005).

No presente trabalho, apresentamos um WebSIG que permite a visualização e consulta de dados do projeto COALA, que foram armazenados em bases de dados ao longo do projeto, e ainda alguns pontos importantes da ria Formosa. Pretendemos disponibilizar este WebSIG a potenciais utilizadores finais, tais como a comunidade científica, técnica e decisores relacionados com o ambiente, assim como à sociedade em geral.

## 2. MÉTODOS

A criação do presente WebSIG, pretende disponibilizar um portal de referência para distribuição e difusão da imensa informação espacial e não espacial existente acerca da ria Formosa, e ainda facilitar o acesso e consulta desta informação.

Para a conceção deste WebSIG, realizaram-se os seguintes passos:

### 1 – Software e pacotes *open source* utilizados:

A plataforma de trabalho utilizada para esta conceção foi o sistema operativo Windows.

Tendo como requisitos necessários: servidor web, servidor de mapas, suporte para *php* e para CGI (*Common Gateway Interface*) e um conjunto de bibliotecas que permite o uso e tratamento de dados espaciais.

Tendo em conta os dados e os objetivos do trabalho, como servidor web escolheu-se o **Servidor Web Apache**. Como servidor de mapas escolheu-se o **Mapserver**, que tem como função principal disponibilizar dados e mapas na internet. O **Mapserver** também pode ser utilizado como ambiente de desenvolvimento para construções de mapas interativos antes de os publicar.

As configurações do serviço de dados e de mapas no software Mapserver são efectuadas em ficheiros específicos, designados por **mapfiles**. A extensão destes ficheiros denomina-se por *.map*, e é nestes mesmos ficheiros que são inseridos códigos a ser interpretados posteriormente. Através do **plugin RT MapServer Exporter**, instalado no software Quantum GIS, utilizado ao longo deste trabalho (**QGIS**), geraram-se os ficheiros **mapfiles** com informação dos layers a disponibilizar, bem como as parametrizações para a produção e distribuição dos mapas.

O Mapserver possui três formas de funcionamento: *Common Gateway Interface* (CGI), *WebServices* e **MapScript**. Para a realização deste trabalho, utilizou-se o modo *Mapscript*, devido ao facto de poder criar aplicações mais robustas. Outra vantagem deste modo é que, para além da sua linguagem base (C), o mesmo pode estar disponível para outras linguagens como o PHP, Perl, Java, Python, entre outras.

Para facilitar o processo de instalação do Mapserver no servidor Windows, utilizou-se o pacote **MS4W**. Este pacote tem incorporado todas as dependências do **Mapserver**, tais como o Apache, *php*, e bibliotecas (exemplo: Proj4, OGR e GDAL). O mesmo apresenta, ainda, um procedimento tanto de instalação como de funcionamento bastante simples, permitindo o desenvolvimento deste WebSIG no sistema operativo Windows.

Através da utilização do **Mapserver**, existem dois métodos possíveis para criar uma interface para o

utilizador do WebSIG. Pode-se criar essa interface de raiz ou explorando um *framework*. Neste trabalho, utilizou-se o *framework* denominado por **p.mapper**, no qual foi necessário adequar o código e outras configurações de modo a atingir o pretendido. Contudo, estas alterações não modificaram a estrutura base deste *framework*.

### 2 – Conjunto de dados

O conjunto de dados apresentados neste WebSIG encontram-se no formato *shapefile* e no formato *raster*.

Os dados que estão no formato *shapefile* são dados vetoriais, que englobam a linha de costa e as delimitações dos países (País), as cidades da área de estudo (Cidades), os rios da área de estudo (Rios), os locais de interesse da ria Formosa (Locais), a localização dos PT's (Sensores de pressão), os transectos realizados durante as campanhas oceanográficas (Transectos campanhas).

Por outro lado, os dados em formato matricial (*raster*) são as imagens de satélite de temperatura da superfície do mar (TSM), (Imagens\_sst). Foram utilizadas imagens compostas de 8 dias, de nível 3, provenientes do satélite *Modis-Aqua* (Oceancolor, NASA). De referir, ainda, que o seu tratamento primário foi realizado no software *open source* Mirone (Luis, 2007).

O tratamento destes dados foram realizados no software *open source* QGIS, tendo como sistema de referência o WGS 84. Após o tratamento dos dados, os mesmos foram guardados no interior da pasta do **MS4W**, juntamente com os dados do *framework* pmapper (C:/ms4w/apps/pmapper/pmapper\_demodata).

### 3 – Preparação do ficheiro mapfile

O ficheiro mapfile deste websig foi criado através do *plugin* do software QGIS, o RT mapserver exporter.

Neste *plugin*, apenas foi necessário colocar o local para guardar o ficheiro (C:/ms4w/apps/pmapper/pmapper\_demodata) e seleccionar a opção “Apenas a informação da camada”, pois o código relativo ao mapa e às definições deste já estão incorporados no pmapper.

Após o ficheiro estar criado, através do *notepad++*, foi necessário alterar as localizações das layers para (DATA:C:/ms4w/apps/pmapper/pmapper\_demodata/Nome\_layer) e, ainda, colocar em cada layer, no local referente à sua projecção, uma linha para projetar os dados de WGS 84 para o sistema de referência utilizado no pmapper (ETRS 89). A linha de código utilizada foi a seguinte: "+proj=longlat + ellps=WGS84 + datum=WGS84 + no\_defs no\_defs”.

### 4 – Configuração e publicação das layers no *framework* pmapper



Inicialmente, no código do mapa do pmapper (“pmapper\_demo.map” - C:/ms4w/apps/pmapper/pmapper4.3.2/config/default), alterou-se a extensão do mapa para as seguintes coordenadas: EXTENT 2529954 (minx) 1655341(miny) 2933249 (maxx) 1843555 (maxy); de modo a que apenas fosse possível visualizar o Sul de Portugal.

Após o ficheiro *mapfile* ter as alterações concluídas, copiou-se o código deste para o final da página do ficheiro “pmapper\_demo.map”, ficando acima do último “End” que é referente ao mapa.

Antes de começar a trabalhar com o ficheiro “config\_default.xml”, que está localizado na pasta (C:/ms4w/apps/pmapper/pmapper4.3.2/config), testou-se as layers, uma a uma, no *browser* através do seguinte código: “localhost/cgi-bin/mapserv.exe?map=C:/ms4w/apps/pmapper/pmapper4.3.2/config/default/pmapper\_demo.map&layer=(Layer a testar)&mode=map”. Cada vez que a layer era executada corretamente, avançava-se para o procedimento seguinte. Caso contrário, seria necessário fazer uma nova verificação de código, de forma a identificar o erro.

Em seguida, através do ficheiro “config\_default.xml”, foi necessário alterar as categorias e grupos, pois estes definem as layers que o utilizador irá selecionar para visualizar. Nesta parte do código foram adicionadas duas categorias, uma referente aos “Dados Gerais” e outra aos dados do “Projeto COALA”.

Como foram adicionadas categorias que o ficheiro “language\_en.php” (C:// ms4w/apps/pmapper/pmapper-4.3.2/incphp/locale) não reconhece, foi necessário adicionar-lhe estas duas categorias de modo a aparecerem na visualização do WebSIG. É neste ficheiro, “language\_en.php”, que é anotado todo o texto que é visível na interface do utilizador. Neste caso, como está “en”, o texto está na língua Inglesa.

Adicionalmente, dentro de cada categoria foram adicionadas as layers que as representam (<groups> Nome da *layer* </groups>). Em seguida, as mesmas tiverem, ainda, que ser adicionadas a <allgroups> Nome da *layer* </allgroups>. O nome de cada layer foi igual em todos os locais em que estas se utilizaram.

De referir também que, no interior de <defGroups> </defGroups>, incluíram-se as layers que estão sempre ativas ao abrir a página do WebSIG. Estas layers denominam-se por Linha de costa e por Cidades.

Por último, o *framework* pmapper já tem incluído vários controlos que permitem a interação do WebSIG, os quais foram incluídos através de livrarias de *javascript*. (Hazzard, 2011)

#### 5 – Desenvolvimento da página template em html

Para complementar o trabalho, procedeu-se ao desenvolvimento de uma página *html* (*Linguagem de Marcação de Hipertexto*), com várias informações sobre oceanografia na ria Formosa, incluindo assim o WebSIG num *link* de navegação.

A estrutura deste *html* foi desenvolvida no *notepad++*. No topo da página, colocaram-se diversos links de navegação (Inicio, Projeto, WebSIG, Publicações, Contactos), de forma a permitir ao utilizador o acesso a vários tipos de informação. Por exemplo, no *link* Projeto será explicado um pouco da oceanografia da Ria Formosa, apresentando resultados de trabalhos realizados ao longo do projeto, entre outros assuntos importantes.

Por último, para que fosse possível estabelecer uma ligação entre o WebSIG e a página *html*, foi criado o código que está presente na figura 2. No interior do “...*iframe src=...*” colocou-se o *link* que dá acesso ao WebSIG gerado através do *framework* pmapper. Deste modo, para aceder ao WebSIG, o utilizador terá que clicar no *link* denominado por WebSIG.

```
<div id="warped" class="all map hg">
  <div id="warp" class="mapa">
    <iframe src="http://localhost/pmapper/map_default.phtml"
      width="100%" height="100%" frameborder="0" style="border:0"></iframe>
  </div>
</div>
```

Figura 2. Inclusão do link do WebSIG no interior do html.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como anteriormente referido, foi desenvolvida uma página *html* com vários *links* de navegação no seu topo, nos quais o utilizador pode visualizar várias informações sobre o tema deste trabalho (Fig. 3). De referir, ainda, que um desses *links* corresponde ao WebSIG.

O *link* da página inicial apenas informa os utilizadores do título do Website, os logotipos das instituições envolvidas e, ainda, os agradecimentos. O *link* Projeto contém informações acerca da Ria Formosa e alguns dos dados analisados ao longo do projeto, apresentados, por exemplo, sob a forma de gráficos. O *link* Publicações apresenta todas as publicações obtidas ao longo do decorrer do projeto, de forma a que os utilizadores possam obter informações mais detalhadas acerca do trabalho já realizado. Enquanto que, por último, o *link* Contactos fornece informações acerca dos investigadores do projeto.

No WebSIG, o utilizador pode visualizar, no lado direito, uma tabela com as diversas *layers*, na qual pode selecionar as que pretende visualizar. Existe, ainda, a possibilidade de interação com o mapa através dos diversos controlos disponíveis. Alguns exemplos destes controlos são *Zoom out*; *Zoom in*; *Pan*; *Zoom to selected*; *Identify*; *Measure*; *Scale*;



entre outros (Fig. 4). De referir, também, que, ao passar com o cursor do rato por cima do mapa, o utilizador pode visualizar, no canto inferior esquerdo do WebSIG, as coordenadas respetivas desse local.

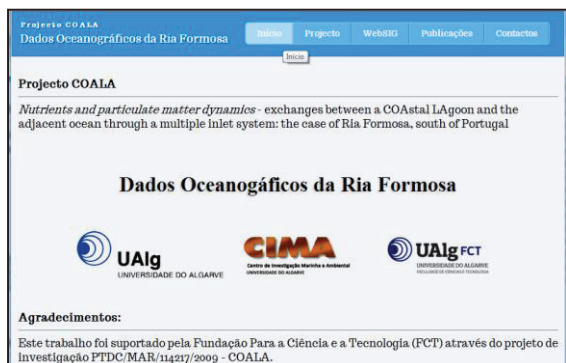


Figura 3. Página inicial do Website.

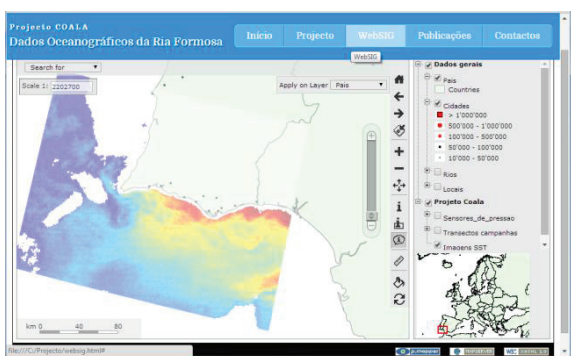


Figura 4. WebSIG com as layers: País, Cidades (10.000 a 50.000 habitantes) e uma imagem de satélite referente à TSM entre 4 e 12 de Julho de 2013. Apresenta também a sua diversidade de controlos para interagir com o mapa.

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de um WebSIG de dados oceanográficos da Ria Formosa. Futuramente, vai ser dada continuidade ao desenvolvimento do WebSIG e do Website, aprimorando tanto a estética como a estrutura dos mesmos. Posteriormente, pretende-se incorporar uma descrição mais precisa do trabalho desenvolvido ao longo do projeto, através do tratamento de um maior número de dados. De forma a que este Website não seja apenas um meio de informação, irá ser incluído no mesmo um espaço de comentários para que os interessados possam trocar ideias sobre este assunto, tornando tanto o WebSIG como o Website mais interativos e dinâmicos. Com isto, consegue-se construir interfaces bastante atrativas, fáceis de utilizar e funcionais, com a finalidade de serem úteis à comunidade científica e à sociedade em geral.

#### Agradecimentos

Este trabalho foi suportado pela Fundação Para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através do projeto de investigação PTDC/MAR/114217/2009 - COALA.

#### REFERÊNCIAS

- Bonnici, A. (2005). *WebGIS Software Comparison Framework*. Geomatics Dpt., Sir Sandford Fleming College.
- Cravo, A., Cardeira, S., Pereira, C., Rosa, M., Alcântara, P., Madureira, M., Rita, F., Luís, J., Jacob, J. (2014). Exchanges of nutrients and chlorophyll a through two inlets of Ria Formosa, South of Portugal, during coastal upwelling events. *Journal of Sea Research*.
- Estratégia nacional para o mar: <http://www.portugal.gov.pt/>
- Falcão, M. and Vale, C., 2003. Nutrient dynamics in a coastal lagoon (Ria Formosa, Portugal): the importance of lagoon-sea water exchanges on the biological productivity. *Ciencias Marinas*, 29(4), 425-433.
- Hazzard, E. (2011). *OpenLayers 2.10 Beginner's Guide*.
- Jacob, J., Cardeira, S., Rodrigues, M., Bruneau, N., Azevedo, A., Fortunato, A., Cravo, A. and Rosa, M. (2012). Contribuição para o estudo da propagação da maré no setor oeste da Ria Formosa. *2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica* (Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal), pp. 185-188.
- Jacob, J., Cardeira, S., Rodrigues, M., Bruneau, N., Azevedo, A., Fortunato, A.B., Rosa, M., Cravo, A. (2013). Experimental and numerical study of the hydrodynamics of the western sector of Ria Formosa. *J. of Coastal Research* 65, 2011-2016.
- Luis, J. F. (2007) – Mirone: A multi-purpose tool for exploring grid data. *Computers & Geosciences*, 33: 31-41, [hfp//w3.ualg.pt/~jluis/MIRONE](http://w3.ualg.pt/~jluis/MIRONE)
- Newton, A. and Mudge, S.M., 2003. Temperature and salinity regimes in a shallow, mesotidal lagoon, the Ria Formosa, Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57, 73-85.
- Peng, Z. & Tsou, M. (2003). *Internet GIS: Distributed Geographic Information Services for the Internet and Wireless Networks*. New Jersey: John Wiley & Sons.

## Base de dados ANOSOM- Análise da observação sistemática de obras marítimas – O caso do porto de Nador

R. Lemos<sup>(1)</sup>, L. Silva<sup>(1)</sup>, J. Fortes<sup>(1)</sup> e L. Luís<sup>(2)</sup>

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil. rlemos@lnec.pt

(2) Consulmar. lucilia.luis@consulmar.pt

**Resumo:** Os quebra-mares de talude são estruturas normalmente utilizadas para proteção costeira e portuária e estão sujeitas durante a sua vida útil a diferentes solicitações (p.e., agitação marítima). A avaliação do seu estado estrutural e a previsão do seu comportamento ao longo do tempo torna-se um assunto fundamental de modo a evitar significativos prejuízos materiais. É nesse âmbito que se insere o programa de observação sistemática, em curso no LNEC, desde 1986, para quebra-mares localizados em Portugal Continental, no qual o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) efetua inspeções periódicas e avalia as condições de segurança de cada quebra-mar. Para apoio a esse programa desenvolveu-se uma aplicação informática em Microsoft Access™ e Visual Basic for Applications (VBA), ANOSOM, que facilita o armazenamento, consulta e análise de toda a informação recolhida. Recentemente, esta base de dados foi aplicada ao porto de Nador e Al Hoceima, Marrocos e efetuaram-se significativas alterações nos módulos de armazenamento e consulta de dados para atender às características do porto em questão. A descrição desta ferramenta, das suas potencialidades e da sua aplicação ao porto de Nador são objetivos da presente comunicação.

**Palavras-chave:** Base de Dados, Observação Sistemática, Obras Marítimas, Quebra-mares

### 1. INTRODUÇÃO

Assume-se que durante o período de vida útil de uma estrutura marítima, haverá necessidade de realizar obras de reparação, sempre que sejam excedidas as condições de solicitação consideradas no projeto, e de obras de manutenção, face ao estado de fadiga dos elementos e dos materiais envolvidos na construção.

Contudo, para que essas intervenções possam ser efetivamente realizadas em tempo útil e com o menor custo possível, torna-se imprescindível que as estruturas sejam observadas de uma forma sistemática ao longo da sua vida útil, no sentido de se ir acompanhando o seu comportamento e procurando precisar o instante mais oportuno para intervir.

Neste âmbito, o LNEC desenvolveu, desde 1986, um programa designado por OSOM (Observação Sistemática de Obras Marítimas) para quebra-mares localizados em Portugal continental e, posteriormente, na Região Autónoma dos Açores. Este programa abrange um total de 36 estruturas marítimas de proteção portuária e de fixação de embocaduras localizadas ao longo de 19 pontos da costa. O programa envolve inspeções visuais periódicas, normalmente anuais, a caracterização Estado Atual, Estado de Evolução e Estado de Risco, de cada troço em que é dividido a estrutura a analisar e a publicação de relatórios para cada quebra-mar com o diagnóstico do estado das estruturas bem como das suas necessidades de operações de manutenção/operação ou de medidas suplementares de inspeção. Para armazenamento e consulta e análise da informação que vai sendo recolhida no programa OSOM, desenvolveu-se no LNEC a aplicação ANOSOM (Análise de

Observação Sistemática de Obras Marítimas), REIS e SILVA, 1995, LEMOS et al. 2002, RAMALHO, 2005.

Esta aplicação foi recentemente aplicada ao Porto de Nador e Al Hoceima, em Marrocos (Figura 1) e, nesse sentido, houve que efetuar vários melhoramentos no módulo de armazenamento e de consulta de dados. Nas próximas seções descreve-se a aplicação melhorada ANOSOM com exemplos de aplicação ao porto em questão.

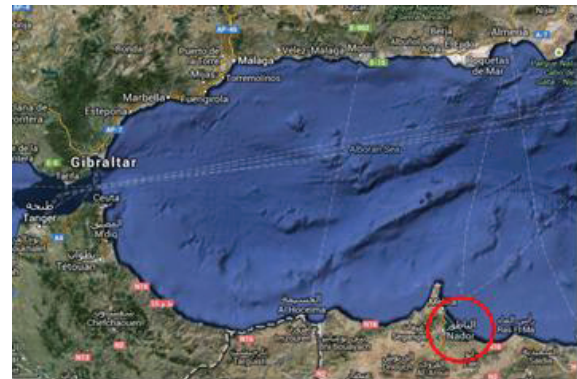


Fig. 1. Localização geográfica do porto de Nador

### 2. CARACTERIZAÇÃO DA APLICAÇÃO ANOSOM

A aplicação informática ANOSOM foi desenvolvida em Microsoft Access™ e VBA, para facilitar o armazenamento, consulta e análise de toda a informação que tem vindo a ser recolhida. A aplicação ANOSOM é constituída por 3 módulos: armazenamento de dados, consulta de dados e caracterização do estado atual, de evolução e de risco das estruturas. O elemento fundamental desta aplicação é o troço. Os quebra-mares são divididos em troços, para uma melhor caracterização dos seus

elementos constituintes (superestrutura e taludes interior e exterior). O módulo respeitante à introdução de dados permite armazenar:

- A informação sobre o historial de cada quebra-mar - Para além de conter informação sobre as características gerais dos quebra-mares (localização, ano de construção, tipo de estrutura) engloba, ainda, a descrição das coordenadas dos limites físicos de cada troço de cada quebra-mar, bem como a sua caracterização pormenorizada, tanto ao nível de características geométricas como de materiais utilizados;
- Os dados obtidos durante as inspeções - Contém toda a informação obtida, quer através das campanhas de inspeção visual ou mergulho, quer através dos levantamentos multifeixe e scanner 3D, sob a forma de ficheiros contendo as nuvens de pontos.

O módulo respeitante à consulta de dados permite pesquisar toda a informação contida na base de dados. Por seu lado, o módulo respeitante à análise de informação da ANOSOM permite, com base no tratamento dos dados de inspeção, realizar o diagnóstico (Estado Atual, Estado de Evolução e Estado de Risco) de cada elemento das secções dos vários troços em que se dividiu o quebra-mar inspecionado, através da aplicação de critérios pré estabelecidos. Este diagnóstico baseia-se no estado atual do elemento do perfil e na sua evolução desde uma data designada de comparação e que corresponde ao mais recente dos acontecimentos seguintes: a conclusão da construção da estrutura; o início das inspeções; a última reparação do troço; cinco anos antes da última inspeção. A aplicação ANOSOM tem vindo a ser utilizada no Programa de Observação Sistemática implementado em Portugal continental.

### 3. APLICAÇÃO DA ANOSOM AO PORTO DE NADOR

Recentemente, no âmbito de um programa de monitorização de quebra-mares em Marrocos, levado a cabo pela empresa CONSULMAR,

Projetistas e Consultores, foi solicitado ao LNEC, a aplicação desta base de dados ao porto de Nador, Marrocos. Foram, assim, realizadas alterações significativas aos módulos de armazenamento e consulta de dados para atender às características do porto em questão. A Figura 2 ilustra o menu Principal da Base de dados ANOSOM\_Nador.

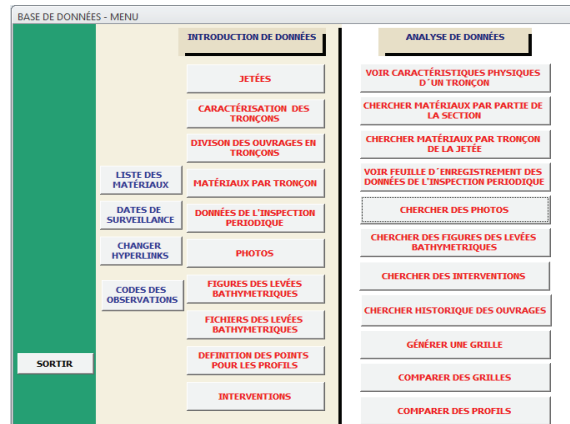


Fig. 2. Menu Principal da Aplicação ANOSOM\_Nador

#### 3.1 Formulários de introdução de dados

Entre os formulários que contemplam a entrada de dados destacam-se os que dizem respeito à introdução da informação sobre as características físicas do quebra-mar, bem como o de introdução dos dados de inspeção periódica relativos ao manto resistente, talude interior, superestrutura e parte submersa do manto do quebra-mar (Figura 3).

#### 3.2 Formulários de pesquisa de dados

Mediante o preenchimento dos formulários de pesquisa de dados, é possível produzir relatórios com os resultados encontrados. Os formulários de pesquisa mais relevantes são os de pesquisa das características físicas de um troço e de pesquisa da folha de registo da inspeção periódica relativa a um determinado troço numa determinada data (Figuras 4 e 5 respetivamente).

Fig. 3. Formulário destinado à caracterização física dos troços do quebra-mares e introdução dos dados das inspeções periódicas

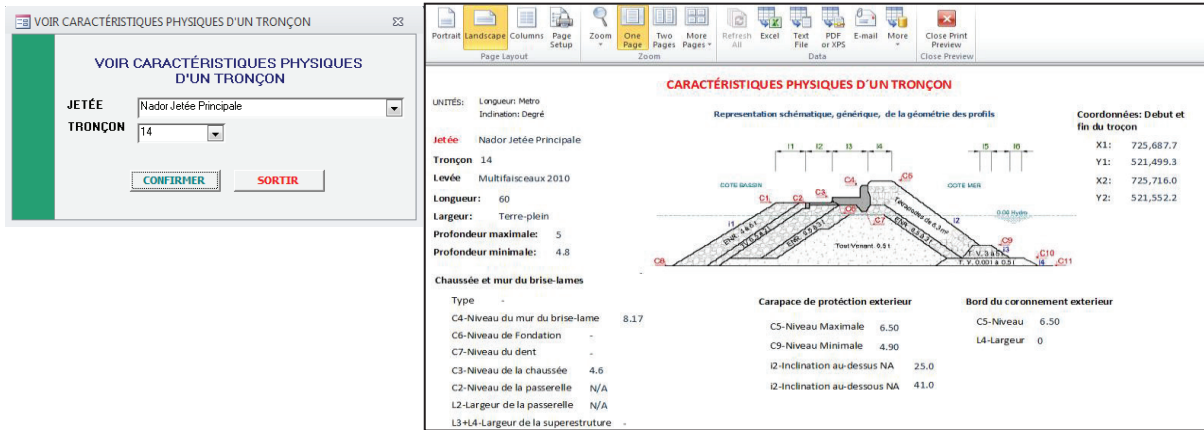


Fig. 4. Pesquisa e relatório de pesquisa das características físicas de um troço

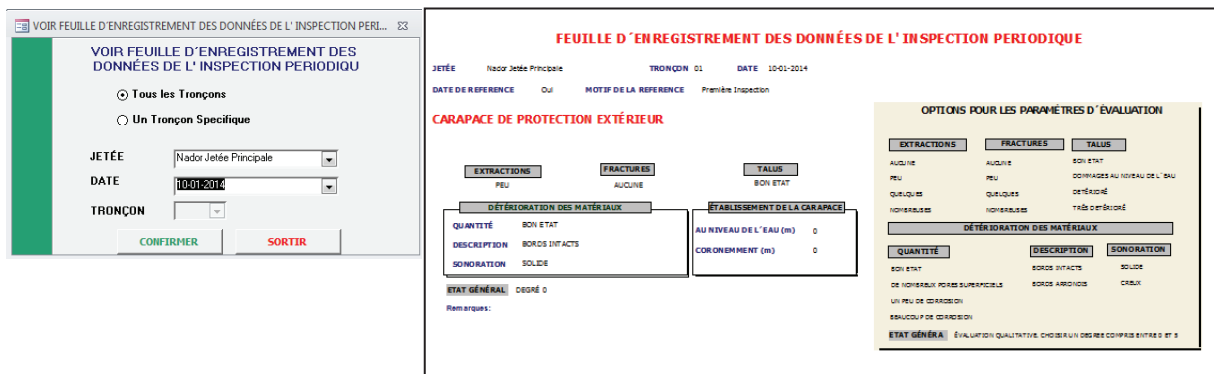


Fig. 5. Pesquisa e relatório da folha de registo da inspeção periódica

### 3.3 Formulários de análise de dados

Dado o programa de monitorização do porto de Nador se encontrar ainda numa fase inicial, existindo ainda poucas campanhas de observação que possibilitem a atribuição de critérios de evolução, não é possível nesta fase, inferir sobre o estado de evolução e risco do quebra-mar do porto

de Nador. No entanto, caso existam dados resultantes de levantamentos, é possível obter a envolvente do quebra-mar, bem como perfis pré-definidos, obtendo também comparações entre levantamentos realizados em datas diferentes (Figura 6).

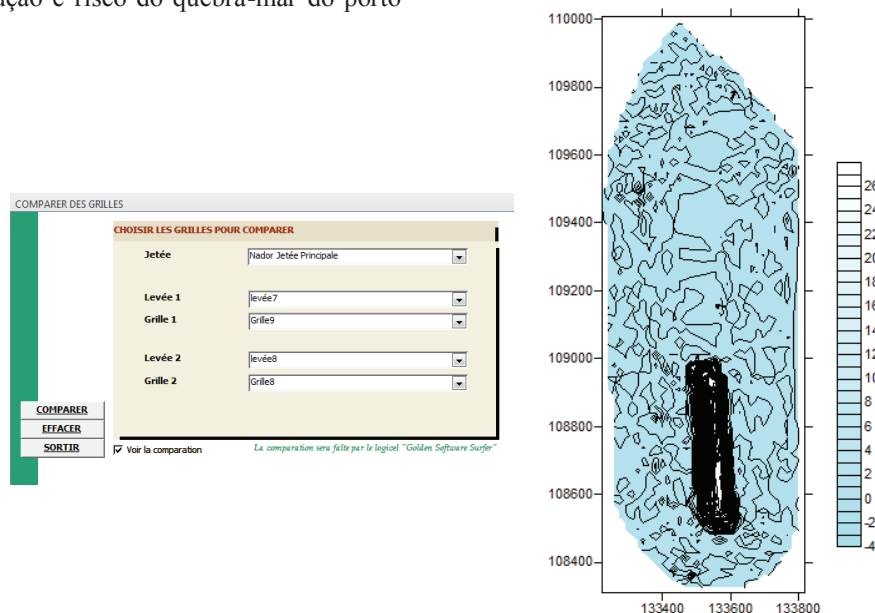


Fig. 6. Comparação entre levantamentos realizados em datas diferentes



#### 4. CONCLUSÕES

Descreveu-se nesta comunicação a aplicação ANOSOM ao porto de Nador, Marrocos, cujas funcionalidades são:

- Armazenamento da informação sobre o historial de cada quebra-mar, bem como das características geométricas dos seus troços;
- Armazenamento dos dados obtidos durante as inspeções periódicas;
- Consulta de toda a informação contida na base de dados.
- Diagnóstico (Estado Atual, Estado de Evolução e Estado de Risco) de cada elemento dos diferentes troços com base no tratamento dos dados de inspeção.

Os módulos de armazenamento e consulta de toda a informação da base de dados ANOSOM foram melhorados no sentido de se adaptarem às características específicas do porto de Nador. No entanto, dada a existência de apenas uma campanha de observação, não é ainda possível a atribuição de critérios de evolução, os quais poderão vir a ser definidos com o decorrer do programa de monitorização a implementar, viabilizando, nessa altura, a realização do diagnóstico do quebra-mar do porto de Nador. Contudo, o carácter decisório da base de dados ANOSOM é já aplicado, na plenitude

das suas potencialidades, aos 36 quebra-mares da costa portuguesa mencionados no ponto 1, tendo-se tornado a ferramenta base para a priorização das necessidades de obras de intervenção nessas obras de proteção costeira e portuária.

A principal inovação da base de dados ANOSOM\_Nador em relação à base de dados original, foi a introdução de dados de inspeção da parte submersa do quebra-mar, resultante de levantamentos multifeixe, visto já existirem dados e estar prevista a utilização desta técnica de observação com uma certa regularidade.

Pretende-se, a curto prazo, migrar a base de dados para uma plataforma Websig.

#### REFERÊNCIAS

- Reis, M.T.; Silva, L.G (1995). *Observação Sistemática de Obras Marítimas. Base de Dados ANOSOM: Manual de Utilização (Versão Provisória)*. LNEC, Lisboa, dezembro de 1995.
- Lemos, R; Reis, M. T.; Silva, L. G (2002). *Observação Sistemática de Obras Marítimas. ANOSOM: Base de Dados de Comportamento de Estruturas. Manual do Utilizador*. Rapport 318/02 - NPP, novembro de 2002.
- Ramalho, C.P. (2005). *ANOSOM - Relatório do Projecto Final de Curso*. Universidade Nova de Lisboa, fevereiro de 2005.

## Contribuição das Bases de Dados para um melhor conhecimento geológico em Portugal

A. Saramago dos Santos<sup>(1)</sup>, A. Lopes<sup>(1)</sup>, A. Rodrigues<sup>(1)</sup>, C. Luz<sup>(1)</sup>, A. Oliveira<sup>(1)</sup>,  
A. Santos<sup>(1)</sup>, L. Rosa<sup>(1)</sup> e R. Baptista<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico; ana.saramago@hidrografico.pt

**Resumo:** A Base de Dados (BD) Nautilus foi implementada, em 2009, na Divisão de Geologia Marinha com o objetivo de responder aos exigentes requisitos da Acreditação de Ensaios (NP IEC ISO 17025:2005). Em 2011, foi desenvolvida uma aplicação para arquivar, disponibilizar e georreferenciar dados referentes a amostras do Programa SEPLAT, colhidas anteriormente a 2009. Em paralelo, e acompanhando os desenvolvimentos de novas competências laboratoriais, o sistema Nautilus foi expandido de forma a contemplar a Análise Composicional (Mineralogia de finos) e Análise de Matéria em Suspensão (matriz água/particulado), permitindo ainda a possibilidade de visualizar e disponibilizar a informação/dados nos mais variados formatos. Esta funcionalidade permite, ao utilizador, o processamento dos conjuntos de dados extraídos da BD à medida das suas necessidades. Considerando o interesse em integrar informação geofísica, foi desenhada à medida e desenvolvida, numa BD paralela ao Nautilus, uma capacidade de armazenar a meta-informação dos dados gerados em levantamentos geofísicos.

**Palavras Chave:** Geofísica; Base de Dados; Nautilus; Georreferenciação.

### 1. INTRODUÇÃO

O Instituto Hidrográfico (IH) possui um vasto arquivo de dados colhidos, desde 1974, no âmbito dos seus projetos e atividades de caracterização e monitorização do sistema marinho. Amostras de sedimentos, sonografias e perfis de reflexão sísmica têm sido adquiridos e processados, de acordo com os objetivos dos vários estudos e utilizando ferramentas e critérios que, ao longo do tempo, têm vindo a evoluir e a permitir um melhor conhecimento do meio marinho. Ciente da importância e do valor dos dados adquiridos, processados e arquivados nos mais variados formatos, o Centro de Dados Técnico Científicos (CD) do IH, em conjunto com a Divisão da Geologia Marinha, tem vindo a investir no desenvolvimento de ferramentas que permitam o acesso aos mais variados dados sobre os fundos marinhos nacionais.

Esta comunicação tem como objetivo: 1) apresentar as aplicações do Nautilus desenvolvidas para o Programa SEPLAT; 2) apresentar e descrever as recentes adaptações realizadas no Nautilus nas áreas laboratoriais de Análise Composicional (matriz sedimento/matriz água) e Análise de Matéria em Suspensão (Matriz água/particulado); 3) apresentar e descrever a BD da meta-informação da geofísica.

### 2. SEPLAT

O tratamento dos dados do SEPLAT na BD Nautilus iniciou-se há dois anos, tendo os primeiros resultados sido apresentados em 2012 (Saramago Santos *et al.*, 2012). Desde esse primeiro trabalho, os dados adquiridos no âmbito do Programa SEPLAT (cartografia dos depósitos sedimentares da plataforma continental portuguesa) encontram-se

todos validados e inseridos em BD e podem ser exportados e disponibilizados a partir da aplicação criada para o efeito (Saramago Santos *et al.*, 2012). A Figura 1 representa a cobertura do Programa SEPLAT, representada pelas amostras de sedimento colhidas na plataforma continental, entre a linha de costa e os 500m de profundidade.



Figura 1 – Cobertura das amostras do Programa SEPLAT.

### 3. ANÁLISE COMPOSICIONAL

Dado o número de análises realizadas e a sua importância para estudos de caracterização ambiental e dedução dos processos sedimentares, foi criada uma aplicação para introduzir esta informação na BD Nautilus. As análises são realizadas sobre a fração fina do sedimento (dimensões inferiores a 63 µm) e argilosa (dimensões inferiores a 2 µm) e diretamente sobre filtros (de diâmetro 47 mm), para o estudo de sedimentos em suspensão (matriz particulado). A metodologia utilizada para a determinação da mineralogia é a Difractometria de Raios X, é uma técnica não destrutiva que permite identificar e quantificar os diferentes minerais presentes na amostra.

No desenvolvimento do novo workflow no Nautilus recorreu-se a programação específica para efectuar a leitura automática de ficheiros trabalhados pelo operador a partir dos ficheiros produzidos pelo difractómetro. A partir deste método obtém-se dois ficheiros diferentes a introduzir na BD (Figura 2). O primeiro contém a informação necessária para a identificação dos minerais presentes na amostra, como o espaçamento interbasal (d em Å), altura e área das diferentes reflexões basais (picos).

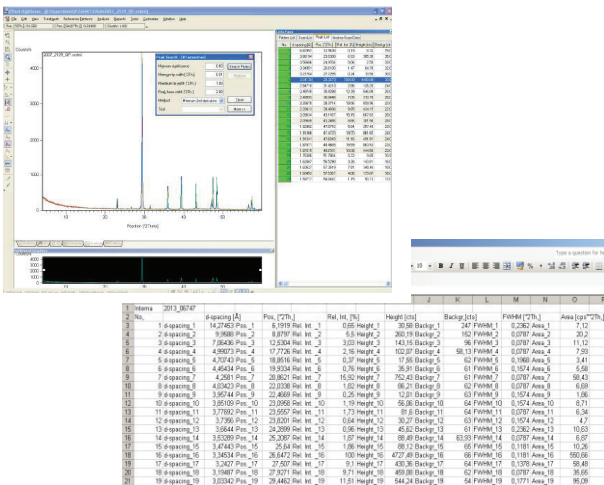


Figura 2 – Aspectos dos ficheiros obtidos do difractómetro.

O segundo ficheiro é obtido através da identificação, feita pelo utilizador, dos diferentes minerais. Este contém apenas a informação sobre a área do pico correspondente às reflexões basais (001) de cada mineral identificado.

Estes ficheiros são lidos automaticamente pelo Nautilus e, juntamente com os dados inseridos nos respetivos atributos, permitem criar uma entrada completa na BD. A correção do poder refletor de cada mineral, mineral, e o cálculo da percentagem relativa (semi-quantificação) são, automaticamente, feitos a partir da programação criada para o efeito, a qual foi testada e validada em laboratório. No final do procedimento, é emitido um boletim de ensaio, contendo toda a informação relativa ao ensaio e ao

procedimento, o qual poderá ser enviado ao cliente (Figura 3).

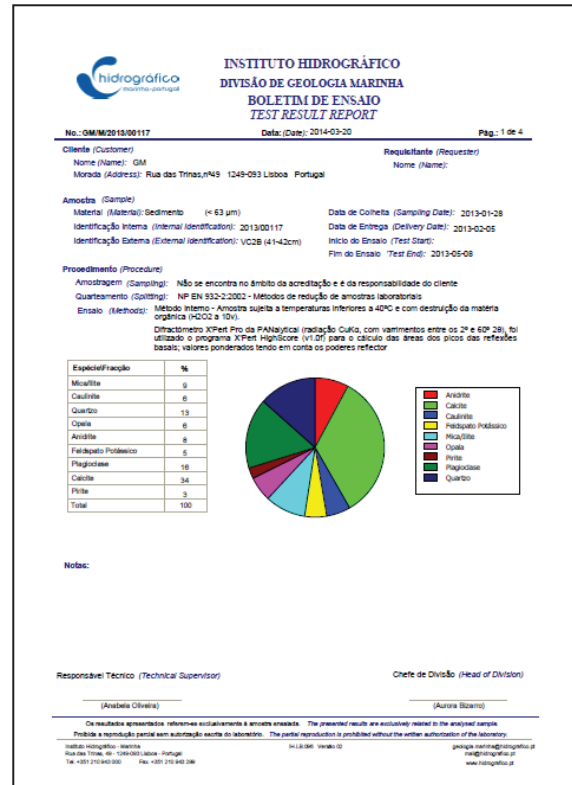


Figura 3 – Boletim de Ensaio.

### 4. ANÁLISE DE MATÉRIA EM SUSPENSÃO

O estudo da matéria particulada em suspensão na coluna de água é essencial para o conhecimento dos processos da dinâmica sedimentar/dinâmica de um sistema natural, seja ele estuarino, costeiro ou oceânico.

A determinação da concentração da matéria em suspensão (MPS) na coluna de água passa pela colheita de um volume de água significativo que é filtrado em laboratório, utilizando filtros pré-pesados com uma porosidade de 0.45 µm. A concentração de MPS é determinada pela diferença de massa entre os filtros virgens e os filtros com material particulado (após filtragem de um determinado volume de água).

Na BD Nautilus agregou-se uma nova área funcional particulado para a matriz Água/Particulado, na qual se reflete toda a metodologia para a determinação da MPS. O novo workflow reflete os parâmetros e os resultados das análises realizadas. E tem como produto final o Boletim de Ensaio que, à semelhança dos restantes ensaios reporta os resultados obtidos por amostra (Figura 4).

A consulta à BD para este tipo de análises foi já testada, tendo os pedidos de cedência de dados sido respondidos com um relatório automático que foi enviado diretamente para o requisitante (Figura 5).



Figura 4 - Aspeto do workflow e Boletim de Ensaio.

Amostra:	Data de Coleta:	ID externa	Longitude	Latitude	Concentração
201300248	2005-09-19 12:21	CTD Longitudinal Mudo MV - STN 5	008-52-06.59997	041-52-10.02000	0,00353 g/L
201300249	2005-09-19 12:26	CTD Longitudinal Mudo MV - STN 6	008-51-46.14000	041-52-20.28000	0,00435 g/L
201300250	2005-09-20 6:57	CTD Longitudinal Mudo MV - STN 16	008-50-41.82000	041-53-45.17900	0,00200 g/L
201300251	2005-09-20 15:10	CTD Longitudinal Mudo MV - STN 18	008-52-06.81900	041-52-10.55900	0,00129 g/L
201300252	2005-09-20 15:14	CTD Longitudinal Mudo MV - STN 19	008-51-48.60000	041-52-21.90000	0,00087 g/L
201300253	2005-09-20 15:17	CTD Longitudinal Mudo MV - STN 20	008-51-28.67900	041-52-28.85900	0,00083 g/L
201300254	2005-09-20 15:21	CTD Longitudinal Mudo MV - STN 21	008-51-06.77900	041-52-44.04000	0,00164 g/L
201300255	2005-09-20 15:29	CTD Longitudinal Mudo MV - STN 22	008-50-19.75900	041-53-01.49900	0,00153 g/L

Figura 5 – Relatório para a Cedência de Dados.

### 5. OUTRAS APLICAÇÕES

Pelos resultados alcançados até ao presente, o conhecimento sedimentar dos fundos oceânicos, tem sido realizado recorrendo a informação histórica e recente, ambas geridas pelas aplicações e interfaces criadas pelo Centro de Dados e utilizando ferramentas de gestão de informação perfeitamente ajustáveis aos objetivos pretendidos. Desta forma, foi desenvolvida uma aplicação à medida para extração dos dados da BD segundo diversos critérios de pesquisa (Figura 6). O *output* resultante será dado segundo dois tipos de ficheiros: \*.txt e \*.kml.

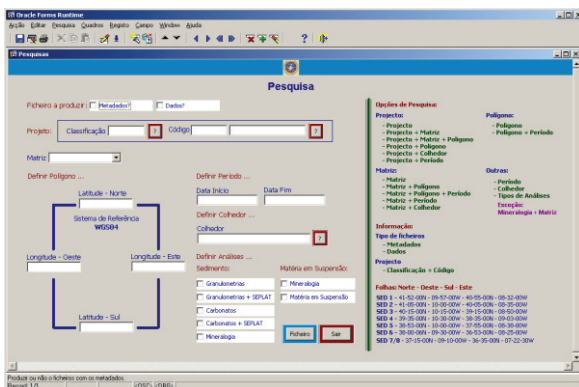


Figura 6 – Mancha da aplicação feita à medida para pesquisas.

O objectivo dos ficheiros \*.txt é o utilizador poder utilizar os dados e convertê-los noutras classificações. Os ficheiros \*.kml têm por objetivo dar informação ao utilizador sobre as posições

geográficas da amostragem e permitir a visualização dos conteúdos em mapas.

### 6. INFORMAÇÃO GEOFÍSICA

Considerando o interesse da Divisão de Geologia Marinha em integrar diferentes tipos de informação foi desenvolvida uma capacidade de armazenar a meta-informação dos dados gerados em levantamentos geofísicos. Esta aplicação foi desenhada à medida, numa BD paralela ao NAUTILUS.

A construção do caderno de requisitos esteve na base da criação do modelo de dados da BD utilizando o Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD) Oracle. Dada a diversidade de dados existente, o requisito principal nesta BD foi a organização dos dados por tipo, para que se possam produzir diferentes camadas de informação (por exemplo, anomalia magnética, espessura da cobertura sedimentar, tipo de fundo, localização de objetos ou estruturas, etc). Assim sendo, foi necessário identificar para cada localização, ou área geográfica, que dados existem e quais os seus atributos, estando a BD de meta-informação de geofísica preparada para dar resposta a esta diversidade de dados e de atributos (Figura 7).

Nesta BD o objectivo não é guardar os dados propriamente ditos, pois estes estão contidos em ficheiros de grande dimensão, normalmente binários, e com uma formatação que geralmente só é lida por programas dedicados.

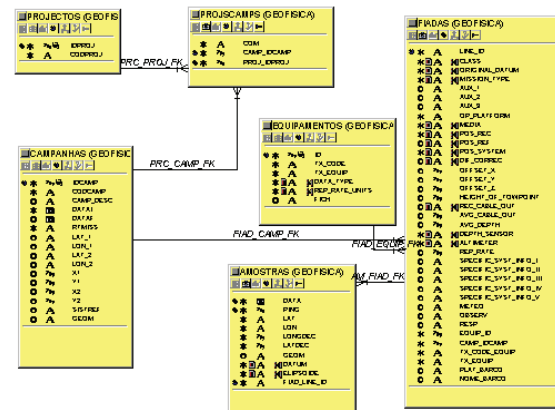


Figura 7 – Aspeto do Esquema de Tabelas da DB de Metadados da Geofísica.

Após o esquema de tabelas da BD Geofísica ter sido aceite pelos respetivos utilizadores foi dado início à criação de uma aplicação informática para a introdução e visualização da meta-informação dos dados.

A aplicação é executada no SGBD Oracle utilizando para o seu desenho os Forms Oracle (Figura 8 e 9).





Figura .8 – Aplicação informática para a introdução e visualização da meta-informação dos dados.

Esta aplicação contém ecrãs para a inserção, atualização e eliminação da meta-informação da geofísica (Figura 9) e possibilita a produção de ficheiros \*.txt (Figura 10). Alguns dos ficheiros \*.txt contém os metadados da meta-informação da geofísica enquanto que outros contém a georreferenciação das amostras obtidas nas diversas fiadas dos levantamentos geofísicos.

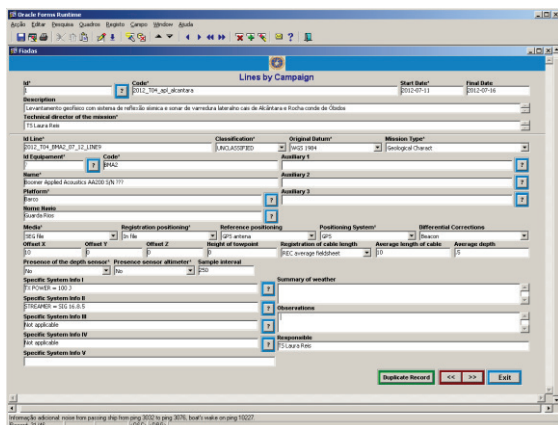


Figura 9 – Aspeto do ecrã de introdução e visualização da meta-informação.

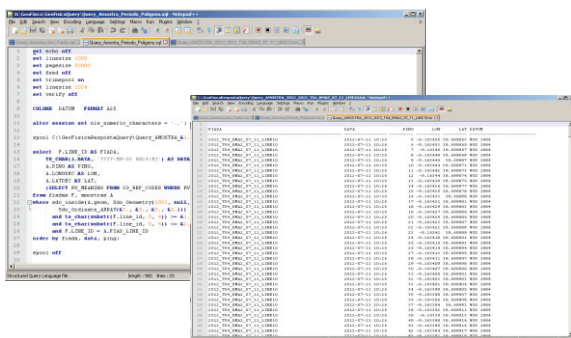


Figura 10 – Mancha do ficheiro de interrogação à BD e ficheiro de output da meta-informação.

Esta BD irá permitir:

1) Escolher quais os melhores sensores a usar em campanhas de *site* ou *route surveying* com base na avaliação de dados anteriores obtidos na proximidade;

2) Avaliar se a cobertura é adequada ou se pelo contrário é necessário proceder a novos levantamentos;

3) Saber quais os ficheiros a que é necessário aceder para processamento e interpretação de acordo com a camada de informação a produzir.

## 7. CONCLUSÕES

O sistema NAUTILUS constitui um sistema de gestão laboratorial com funcionalidades que permitem utilizar como sistema de *backup* dos dados.

Os dados a introduzir no Nautilus, deverão estar devidamente estruturados e validados, de forma a permitir a introdução automática e a reduzir a intervenção do operador.

Com os dados introduzidos no Nautilus e os processos automatizados minimiza-se a possibilidade da ocorrência de erro resultante da inserção manual e o tempo gasto pelo operador.

A produção de relatórios ou boletins de ensaio estão uniformizados para todas as áreas de trabalho do laboratório, sendo fácil e rápido a sua emissão e envio ao cliente.

A inserção das amostras num sistema de BD georreferenciado permite uma melhor gestão e conhecimento dos dados disponíveis, com integração das diversas análises que se podem realizar numa mesma amostra.

A vantagem dos dados estarem todos centralizados na BD é a possibilidade de melhorias contínuas na elaboração de produtos.

A BD de Metadados da Geofísica à semelhança da BD Nautilus serve de *backup* dos dados, permite ao utilizador visualizar em diferentes formatos a georreferenciação dos levantamentos geofísicos existentes, realizar o planeamento de novos levantamentos, especificar quais os equipamentos, sensores, métodos e navios utilizados no levantamento.

Com o sistema Nautilus e a BD da Geofísica o acesso para a cedência/partilha de dados e a reutilização dos dados fica facilitado no âmbito de outros estudos.

## Agradecimentos

SEPLAT: Eng. Joaquim Pombo e Dr. João Duarte.  
BD Geofísica: Ten. Catarina Fradique.

## REFERÊNCIAS

A. Saramago Santos, A. Lopes, C. Luz, R. Baptista, A. Rodrigues (2012), *Nautilus – Prestações para o conhecimento do ambiente sedimentar da Plataforma Continental*, 2ª Jornadas de Engenharia Hidrográfica, pp. 333.

## Processo de recuperação da informação histórica de perfis de reflexão sísmica: Conversão da informação em papel para o formato digital

R. Santos<sup>(1)</sup>, L. Rosa<sup>(1)</sup>, F. Ferreira<sup>(1)</sup>, S. Silva<sup>(1)</sup> e L. Reis<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico – Divisão de Geologia Marinha. [ruben.santos@hidrografico.pt](mailto:ruben.santos@hidrografico.pt).

**Resumo:** Neste trabalho é apresentado um resumo do procedimento aplicado na recuperação dos perfis de reflexão sísmica adquiridos pelo Instituto Hidrográfico (IH) ao longo de várias décadas, em suporte de papel. Estes perfis, devido ao passar do tempo, encontram-se em processo de deterioração sendo que o principal objetivo da implementação deste procedimento é a salvaguarda deste espólio.

O procedimento de recuperação consiste nas seguintes fases: a) digitalização dos perfis (*raster*); b) recuperação do posicionamento e conversão para o *datum* WGS84; c) conversão do raster para o formato SEG-Y; d) recuperação dos metadados; e) e, por fim, integração da informação num Sistema de Informação Geográfica (SIG) para visualização e consulta futura.

A recuperação destes perfis, assim como a sua conversão para o formato SEG-Y, permite não só a sua salvaguarda como também o seu tratamento através das técnicas de processamento mais recentes, o que pode permitir melhorias na análise aos perfis.

**Palavras-chave:** Geofísica, Reflexão Sísmica, Posicionamento, Recuperação, SEG-Y.

### 1. INTRODUÇÃO

O Instituto Hidrográfico (IH), ao longo de várias décadas, realizou diversos cruzeiros onde foram registados milhares de quilómetros de perfis de reflexão sísmica em suporte de papel. Ao longo do tempo foram usadas diferentes tecnologias de impressão: 1) tambor com lâmina helicoidal e passagem de corrente elétrica em papel húmido com solução electrosensível; 2) correia com agulha e passagem de corrente elétrica em papel com carvão; e 3) impressão térmica em papel com superfície termosensível. Apesar destes registos se encontrarem arquivados ao abrigo da luz solar, em ambiente controlado (reduzida humidade e baixa temperatura), o que permite prolongar o seu estado de conservação, existe contudo alguma deterioração. Este facto é uma preocupação, pois as fitas magnéticas que possuem os respetivos registos também se degradam, e não existem sobressalentes para os seus leitores, pelo que não constituem uma ressalva fiável aos perfis em papel.

A digitalização destes perfis bem como a sua conversão para o formato SEG-Y é de extrema importância pois evitará a perda de informação valiosa. Neste trabalho é descrito, de forma concisa, o processo de recuperação dessa informação histórica que abrange uma vasta área do território marítimo português.

### 2. MÉTODO DE REFLEXÃO SÍSMICA MONOCANAL

Os sistemas de reflexão sísmica monocal utilizados na aquisição dos perfis sísmicos, são constituídos por uma fonte de energia, por uma fonte acústica (geralmente do tipo *boomer* ou *sparker*, Figura 1), rebocada por uma embarcação, e por uma cadeia de hidrofones que recebem o impulso refletido no fundo e nas camadas subjacentes. O

signal é pré-amplificado e gravado em fita magnética e/ou impresso, dando origem ao perfil sísmico em formato de papel. Utiliza-se como exemplo a impressora térmica EPC 9800, onde foram impressos uma grande parte dos perfis até 1999. O sinal era digitalizado através de uma carta ADC (*Analogic to Digital Converter*) a 6 bits com uma gama dinâmica de 64 tons de cinzento, e uma amostragem de 4096 amostras na área total de impressão, correspondente a 1 ou 2 canais consoante a opção selecionada (EPC, 1992).

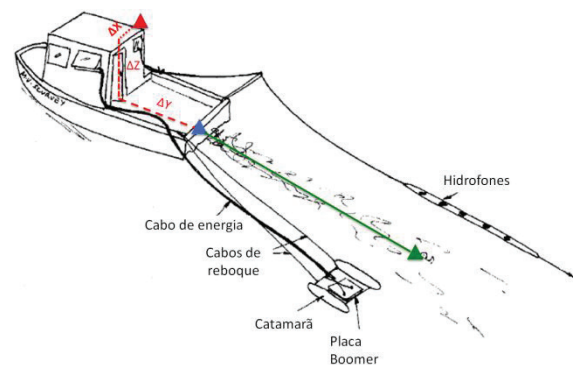


Fig. 1. Geometria de aquisição do sinal de reflexão sísmica. O triângulo vermelho representa a localização do posicionamento da embarcação; O triângulo azul representa o ponto médio de reboque; O triângulo verde representa a posição média entre a cadeia de hidrofones e a fonte acústica; O  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  e  $\Delta Z$  são os offsets entre o posicionamento da embarcação e o ponto de reboque dos equipamentos. Adaptado de Applied Acoustic (1998).

Os perfis de reflexão sísmica representam uma sucessão de reflexões, mais ou menos intensas, correspondendo à presença de anisotropias internas e interfaces entre unidades geológicas. A sua posição em profundidade é dada pelo intervalo de tempo entre a emissão de um impulso acústico, na fonte acústica e a receção da correspondente reflexão pelos hidrofones. O perfil geralmente não é posicionado em todas as emissões, mas sim em intervalos regulares. O instante de posicionamento é

designado por fora. Esta informação apenas tem utilidade se for conhecida a sua posição geográfica, sendo imperativo o posicionamento geográfico de todos os foras.

Independentemente do método de posicionamento utilizado para posicionar a embarcação, sempre existiu um local bem definido na embarcação para esse efeito. Hoje em dia esse local é materializado pela antena de GNSS (Global Navigation Satellite System) que pode não coincidir com o local onde se reboca os equipamentos (Figura 1). No entanto, conhecendo o rumo da embarcação, a posição da antena GNSS e os *offsets* para o ponto de amarração, facilmente se determinam as coordenadas cartográficas do ponto de amarração (A e B da figura 2). Mas, para referenciar corretamente a informação adquirida por equipamentos rebocados, é necessário determinar, com precisão, a posição entre os equipamentos rebocados (aplicação do *layback*; Figura 1 - triângulo verde). Dessa forma e considerando que são conhecidas as coordenadas dos pontos A e B (Figura 2), para os instantes  $t_0$  e  $t_1$ , é possível determinar uma posição bastante aproximada do equipamento rebocado para esses instantes. Para calcular a posição do equipamento rebocado no instante  $t_0$ , considerou-se que o equipamento, no início da fiada, se encontra alinhado com a trajetória da embarcação. Partindo desse pressuposto, as coordenadas iniciais do equipamento podem ser determinadas pelas seguintes equações:

$$M_N(t_0) = M_A + cabo * \sin(R_{AB} \pm \pi) \quad (1)$$

$$P_N(t_0) = P_A + cabo * \cos(R_{AB} \pm \pi) \quad (2)$$

onde  $M_N(t_0)$  e  $P_N(t_0)$  representam a meridiana e perpendicular do equipamento no instante  $t_0$ ;  $M_A$  e  $P_A$  representam a posição de amarração; *cabo* representa a distância entre o equipamento e a embarcação e  $R_{AB}$  representa o rumo da embarcação.

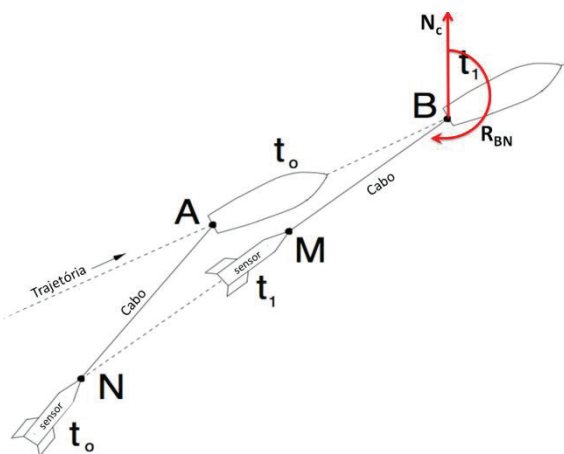


Fig. 2. Geometria entre a embarcação e o sensor rebocado em posições consecutivas (adaptado de Tchernychev, 2004).

Conhecendo as posições geográficas de B e N é possível determinar a posição do equipamento rebocado no instante  $t_1$ , através de:

$$M_M(t_1) = M_B + cabo * \sin(R_{BN}) \quad (3)$$

$$P_M(t_1) = P_B + cabo * \cos(R_{BN}) \quad (4)$$

onde  $M_B$  e  $P_B$  representam a meridiana e perpendicular do ponto de amarração no instante  $t_1$ ; *cabo* representa a distância entre o equipamento e a embarcação e  $R_{BN}$  representa o ângulo  $N_{cBN}$ .

## 2. O PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DA INFORMAÇÃO

O processo de recuperação dos perfis de reflexão sísmica consiste nas seguintes fases: 1) rasterização dos perfis em papel; 2) recuperação do posicionamento dos foras e respetiva conversão para o *datum* WGS84; 3) junção do *raster* e do posicionamento dos foras no formato SEG-Y; 4) formatação dos metadados para inclusão nas bases de dados.

### 3.1. Rasterização dos perfis

A digitalização dos perfis de reflexão sísmica consiste em obter uma imagem *raster* do perfil em suporte papel, para isso foi necessário escolher um equipamento que permitisse a digitalização dos perfis e que conservasse a resolução da informação original. Dos vários equipamentos existentes no mercado (*scanner* de rolo, *scanner* de mesa e máquina fotográfica) optou-se pela máquina fotográfica.

A escolha foi feita em detrimento do *scanner* de rolo, uma vez que é difícil alinhar perfeitamente o papel com o rolo do *scanner* (principalmente no caso do papel húmido eletrosensível), com as consequentes distorções na imagem após a digitalização de alguns metros, e em detrimento do *scanner* de mesa de grande formato, devido ao elevado custo de utilização. Adicionalmente, o sistema fotográfico escolhido é mais rentável, pois permite outro tipo de utilizações, como por exemplo a aquisição de registos fotográficos de amostras sedimentares. A máquina fotográfica escolhida foi a Nikon D800, com um sensor CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) de 35.9x24.0 mm, com 7360x4912 pixéis e digitalização a 14 bits (Nikon, 2011). Este sensor permite salvaguardar a resolução original e a gama dinâmica dos perfis. Para reduzir ao máximo a deformação devido a desvios da vertical foi escolhida uma estrutura rígida que garante a ortogonalidade entre o perfil e o sensor, e também a manutenção da escala (Figura 3).

Para minimizar a distorção e evitar perda de resolução com algoritmos de correção de distorção em processamento digital, foi escolhida uma objetiva com distorção quase nula (Zeiss Makro-Planar ZF.2 de 100 mm). Esta objetiva possui uma abertura angular horizontal e vertical de 21° e 14°, respetivamente.





Fig. 3. Suporte da Kaiser utilizado para fixar a altura da máquina fotográfica ao longo do trabalho e respectiva estrutura de iluminação da mesa, onde o perfil será fotografado.

Houve também a preocupação de escolher um sistema de iluminação (Figura 3) com uma distribuição uniforme da luminosidade na área a fotografar, de forma a reduzir as alterações radiométricas que poderiam advir da variação de luminosidade.

O sensor da máquina fotográfica deve ser colocado a uma altura que garanta o compromisso entre a resolução espacial exigida e a otimização da digitalização dos perfis (Figura 4 - A).

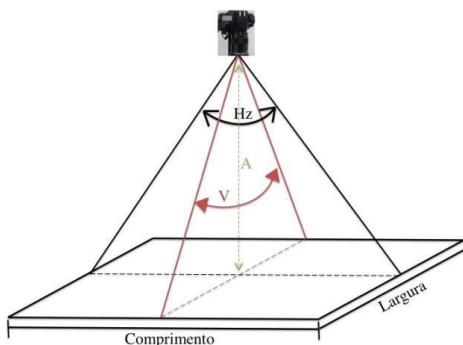


Fig. 4. Geometria da área fotografada, onde Hz representa o ângulo horizontal de abertura da objetiva, V representa o ângulo vertical de abertura da objetiva, A representa a altura do sensor em relação à mesa e a largura e o comprimento da área captada na fotografia.

Como o registador térmico EPC 9800 permitia registar 4096 amostras em aproximadamente 51 cm (largura do rolo de papel) e o perfil que será digitalizado está impresso em metade do rolo, ou seja 25.5 cm, então tem-se de garantir que se conservam 2048 amostras, para se evitar a perda de informação na digitalização (*aliasing*). Para tal, deve-se considerar uma relação de 2 pixéis para cada amostra, o que implica utilizar-se o lado de menor dimensão do sensor com 4912 pixéis para digitalizar as 2048 amostras, assim é possível rentabilizar a digitalização através do lado de maior dimensão do sensor, com 7360 pixéis.

Considerando a abertura angular vertical da objetiva (V), 14°, a largura do perfil sísmico 25.5 cm (Figura 4) e a distância focal da objetiva ( $f = 100$  mm), pode-se determinar a altura do sensor em relação ao papel, de forma a garantir a resolução pretendida, através da equação 5.

$$A = \frac{\text{Largura}}{2 \tan(V)} + f \quad (5)$$

Para os valores mencionados anteriormente determinou-se que o sensor deve estar aproximadamente a 114 cm de altura. Partindo do pressuposto que o sensor está a 114 cm de altura e sendo o ângulo de abertura horizontal (Hz) da objetiva de 21°, então o comprimento (C) da área fotografada, é aproximadamente 39 cm, sendo este valor obtido através da seguinte expressão.

$$C = 2(A - f) \tan(\text{Hz}) \quad (6)$$

Por exemplo, supondo que se pretende fotografar um perfil com 3 m de comprimento, é necessário tirar 8 fotografias com sobreposição entre imagens adjacentes, para que seja possível uni-las numa só imagem. Esta operação pode ser realizada através do software ICE (*Image Composite Editor*) da Microsoft®. A imagem *raster* de todo o perfil pode ser convertida para o formato SEG-Y em conjunto com o posicionamento dos foras, como veremos mais adiante.

### 3.2. Recuperação do posicionamento

Dependendo do ano do cruzeiro, podem ter sido utilizados um dos seguintes sistemas: GNSS, POLAR-FIX, DECCA, LORAN-C ou TRISPONDER. Ao longo do processo de recuperação do posicionamento, também foram verificadas coordenadas relativas a diversos *data* geodésicos, tendo-se decidido por uniformizar o *datum* para toda a informação, o que implicou converter o posicionamento para o *datum* WGS84.

Os ficheiros de posicionamento consistem em ficheiros *ASCII* com listagens de coordenadas relativas aos foras. Uma vez que se detetaram diferentes formatações, foi necessário desenvolver diversas sub-rotinas para se conseguir ler toda a informação vinculada ao posicionamento.

Após se terem detetados alguns erros no posicionamento, as posições foram removidas da listagem de coordenadas. Os ficheiros de posicionamento foram ainda corrigidos no que se refere à oscilação do movimento da antena GNSS (no caso dos levantamentos mais recentes). Para corrigir este efeito cíclico, aplicou-se uma média móvel, adaptada a cada caso, de forma a conservar a trajetória da embarcação.

Estas novas coordenadas já corrigidas do *layback*, são arquivadas num ficheiro *ASCII* de extensão *POS*, em conjunto com outras informações como o número do fora, a data e a hora. Estes ficheiros são importados através de uma aplicação desenvolvida em *python*, onde o seu interface gráfico permite seleccionar o *datum* das coordenadas de entrada e de saída da aplicação, como a fonte acústica utilizada e a referência numérica anual do trabalho. Esta



informação é necessária para a aplicação gerar os ficheiros CD, GF, *kml* e *nav*, referidos adiante.

A conversão entre *data* geodésicos foi implementada na aplicação através da biblioteca PROJ.4 (integrada na aplicação *pyproj*) relativa às projeções cartográficas e respetivos códigos EPSG (*European Petroleum Survey Group*), onde se encontram definidos aos respetivos parâmetros geodésicos.

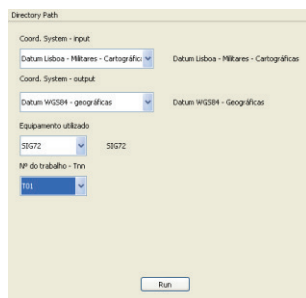


Fig. 5. Interface gráfica da aplicação desenvolvida para realizar a transformação de datum e escrita dos ficheiros *nav*, *CD*, *GF* e *kml*.

O ficheiro *kml* foi criado para ser possível a visualização das fiadas (Figura 6) num programa como o GoogleEarth, ArcGIS ou QuantumGIS, entre outros.

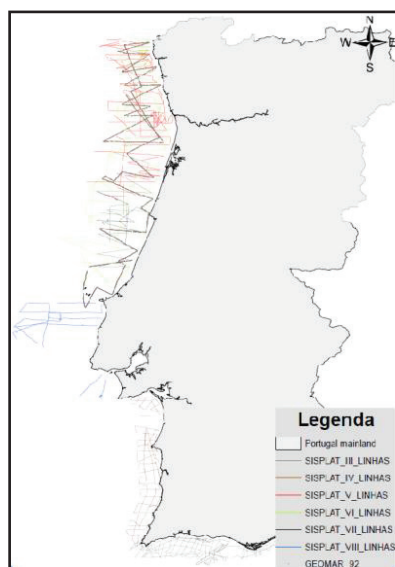


Fig. 6. Visualização das fiadas.

Os ficheiros CD e GF são ficheiros *ASCII* para serem integrados nas bases de dados das divisões de Centro de Dados (CD) e de Geologia Marinha (GF), contendo a informação relativa à identificação da fiada, ao número do fora, à longitude e latitude do fora, como a data e a hora do fora.

O ficheiro *nav* contém as coordenadas e os respetivos números dos foras. Este ficheiro é utilizado para se obter o ficheiro SEG.

### 3.3. Formato SEG-Y

O formato internacional SEG foi desenvolvido pela *Society of Exploration Geophysicists* e é o mais generalizado para armazenamento de perfis

sísmicos, sendo reconhecido por praticamente todos os programas de processamento.

A conversão é realizada pelo programa “*Image to SEG-Y*” da *Chesapeake Technology, Inc.* Este programa importa a imagem *raster* do perfil de reflexão sísmica e o ficheiro com as coordenadas dos foras (*nav*). O operador introduz a escala vertical, e atribui cada fora posicionado a uma coluna da imagem. A variação dos tons de cinzento na vertical, ao longo de uma coluna de píxeis, é interpretada como uma variação de amplitude do sinal sísmico no tempo. O programa calcula também a posição para cada coluna da imagem ou refletor sísmico a partir da interpolação das coordenadas dos foras. Fica, assim, no ficheiro SEG-Y, arquivada a informação da reflexão sísmica e respetiva localização geográfica.

### 3.4. Metadados

Os metadados podem ser divididos na informação relativa a cada fiada e à respetiva campanha, onde são registadas todo o tipo de informação, como por exemplo: a identificação da fiada, o datum do posicionamento, o tipo de trabalho, o tipo de embarcação, a extensão do ficheiro de registo dos dados, onde foi registado o posicionamento, o sistema de posicionamento utilizado, o tipo de correção diferencial (no caso do posicionamento DGPS), offsets, comprimento do cabo, taxa de disparos, frequência utilizada pelo equipamento, equipamento, responsável de missão, nome da embarcação, código de campanha, a descrição da campanha, data, identificação do projeto, código do projeto, ano do projeto, código da obra, nome da obra, descrição do projeto, código do relatório, tipo de entidade, nome de entidade, contactos da entidade, entre outras informações.

## 3. CONCLUSÃO

Este trabalho demonstra que é possível a recuperação de perfis de reflexão sísmica históricos e de elevado valor científico, por caracterizarem, numa determinada data, uma vasta área do território marítimo nacional. O procedimento é simples, relativamente rápido e pouco oneroso, tendo sido demonstrado que preserva a informação original.

## REFERÊNCIAS

- Applied Acoustic (1998). *Fundamentals of High Resolution Seismic Surveying*.
- EPC (1992). *Instruction Manual – Model 9800 Main Manual – Thermal Graphic Recorder*.
- Nikon (2011). *User’s Manual Digital Camera D800 D800E*.
- Tchernychev, M. (2004). *MagPICK – magnetic map & profile processing. User Guide*.
- Zeiss (2014). *SLR lenses*. EN\_10\_025\_148III.

## R3M: The ocean data portal for the Macaronesia region

C. Barrera<sup>(1)</sup>, M. Gelado<sup>(2)</sup>, E. Brito-Azevedo<sup>(3)</sup>, C. Correia<sup>(4)</sup>, V. Melo<sup>(5)</sup>, M. Rueda<sup>(1)</sup> and O. Llinas<sup>(1)</sup>

- (1) PLOCAN. PO Box 35200. Telde. Las Palmas. Spain. [carlos.barrera@plocan.eu](mailto:carlos.barrera@plocan.eu)
- (2) ULPGC. Campus Universitario de Tafira. PO Box 35017. Las Palmas de G.C. Las Palmas. Spain
- (3) CMMG-UAC. Rua Capitão João de Avila. PO Box 9700-042. Terceira. Açores. Portugal.
- (4) APRAM. Gare Marítima da Madeira. PO Box 9004-518. Funchal. Madeira. Portugal.
- (5) INDP. Cova de Inglesa. PO Box 132. São Vicente. Cabo Verde.

**Abstract:** Despite technology addressed to ocean monitoring has been significantly improved during last two decades there are still many unsolved gaps in terms of data quality, reliability, efficiency and sustainability. The Macaronesia is a vast area with key interest for marine and maritime sectors. However, logistics and support level to develop and maintain a useful and sustainable monitoring strategy program are still below the needs. Based on particular and common initiatives for many years ago from several regional institutions, nowadays there is a multidisciplinary group of companies and institutions aiming to consolidate a regional ocean observing strategy under the name of R3M (Macaronesia Marine Monitoring Network). The R3M represents nowadays the ocean data portal where to manage and display according to end-users needs, the information gathered by all existing in-situ observing platforms (fix and mobile) in the Macaronesia, keeping rules and protocols in line with flag-ship international initiatives and European projects.

**Key words:** network, ocean, database, Macaronesia, monitoring.

### 1. INTRODUCTION

In-situ ocean monitoring is still difficult and costly for a large number of chief reasons, despite current advances on key marine technology fields. Oceans have a complex 3D-structure and their behaviour is governed by a wide variety of processes. Long-term monitoring of them also poses substantial technical and logistic challenges.

World oceans are constantly shifting in ways that impact on every face of our society. To keep open-ocean and coastal communities, economies, and ecosystems healthy requires to monitor key physical, chemical, and biological parameters to assess how these areas (offshore and coastal, from surface to seafloor) are changing in order to take the right decisions for them and the environment (Lampit, 2009).

From a global and multidisciplinary perspective, currently is possible to link databases holding information from in-situ ocean observation with modelling tools and to use them for supporting forecasts ocean states according to end-users needs (De la Beaujardiere, 2008; Bahurel, 2009).

Conflicts between commerce, leisure, research and development, environmental protection and the management of living resources are increasing. The social and economic costs of unsuitable informed decisions are growing accordingly.

A global integrated system of ocean observations and analysis is still needed to provide the information (data products) required by the society to fill the existing key gaps in this context.

### 2. WORLD OCEAN OBSERVATION STRATEGY

The Group on Earth Observations, GEO, is coordinating efforts to build a Global Earth Observation System of Systems, or GEOSS. GEO was launched in response to calls for action by the 2002 World Summit on Sustainable Development and by the G8 (Group of Eight) leading industrialized countries. These high-level meetings recognized that international collaboration is essential for exploiting the growing potential of Earth observations to support decision making in an increasingly complex and environmentally stressed world.

GEO is a voluntary partnership of governments and international organizations. It provides a framework within which these partners can develop new projects and coordinate their strategies and investments. As of March 2012, GEO's Members include 88 governments and the European Commission. In addition, 64 intergovernmental, international, and regional organizations with a mandate in Earth observation or related issues have been recognized as Participating Organizations (GEO, 2005; IOC, 2005).

GEO is constructing GEOSS on the basis of a 10-Year Implementation Plan for the period 2005 to 2015 in order to define a vision statement for GEOSS, its purpose and scope, expected benefits, and the nine "Societal Benefit Areas" of disasters, health, energy, climate, water, weather, ecosystems, agriculture and biodiversity.

GEO is coordinating efforts to build a Global Earth Observation System of Systems, or GEOSS. GOOS (Global Ocean Observing System) is the oceanographic component of GEOSS (Dexter, 2010; Kullenberg, 1997).

The GOOS, sponsored by WMO, IOC of UNESCO, UNEP, and ICSU is designed to provide sustained observations from the global ocean, and related analysis and modeling of ocean fields in support of operational oceanography and climate change applications. *in situ* and satellite observations. It is not solely operational, but includes work to convert research understanding into operational tools. It is designed to produce products useful to a wide range of users. (Fig. 1)

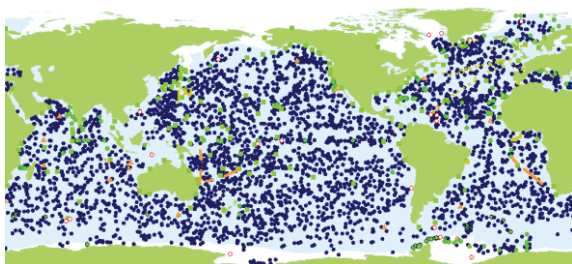


Fig. 1. Global Ocean Observing System status on April 2014. (Source: JCOMMOPS)

The Observations Programme Area of JCOMM is primarily responsible for the development, coordination and maintenance of moored buoy, drifting buoy, ship-based and space-based observational networks and related telecommunications facilities.

It also monitors the efficiency of the overall observing system and, as necessary, recommends and coordinates changes designed to improve it. It has inherited lead responsibility for a number of important and well-established observational programs. JCOMM is now contributing to the implementation of the WMO Integrated Global Observing System (WIGOS) and following the legacy recommendations of the JCOMM Pilot Project for the integration of marine and other appropriate oceanographic observations into WIGOS, strengthening Europe's contribution to GOOS, and specifically on the emerging "Oceans and Society: Blue Planet" initiative (WCRP-JCOMM, 2011).

### 3. AREA OF WORK: THE MACARONESIA

The Macaronesia region is a wide ocean area with more than 5.5 millions Km<sup>2</sup> located in the East-Central North Atlantic that comprises four main archipelagos: Açores, Madeira, Canary Islands and Cape Verde (Fig. 2). All them clearly show a common volcanic (hotspot) origin which gives them similarities concerning biodiversity, although there is a climate variation due to their latitudinal distribution.



Fig. 2. The Macaronesia região location.

The status of outermost region, the land fragmentation of each archipelago in islands as bounded units and the external dependence, are structural features that have conditioned and decisively influenced the development of human activities and the availability of resources. Despite this, Macaronesia has a clear and strategic international interest for all major socio-economic sectors within the marine maritime fields, which require information as derived product from the marine environment observations in a continuous and efficient way.

#### 3.1. The R3M concept.

The R3M (Macaronesia Marine and Maritime Network) is a regional (linked globally) initiative aimed to increase the quantity and quality of marine environment observations, in order to understand and predict both the phenomena that take place on it and the related environmental and socioeconomic impact.

The R3M is an integrative and synergic tool, making compatible and accessible to potential end-users (commercial and recreational navigation, harbors, safety & security, oil & gas, aquaculture, wastewater, tourism, marine research, water sports, ocean energies, protected areas, weather agencies, national and regional governments, etc.) all the marine environment observations [time series observations gathered by different "in-situ" and remote sensing platforms from cutting-edge and conventional methodologies], regardless of the institution or company that carry them out. The initiative includes technological developments for all types of required instruments and tools, aiming to make them more accessible both on a technical and economical point of view.

The R3M has been built "from base to top", starting from the specific end-users towards general users, while keeping the goals and rules established by national and international agencies.



### 3.2. Autonomous Observing Platforms.

Across the Macaronesia region, the R3M integrates nowadays a large group of different autonomous platforms technologies -Eulerian and Lagrangian- (Fig. 3 and 4) addressed to monitor according to capabilities and needs the maximum number of environmental -meteorological and oceanographic- parameters (Fer, 2012; Neuer, 2007; Rudnick, 2004).

The existing devices (Table I) are managed and supported by local, regional and national governmental bodies, agencies or research groups, through particular or joined actions as networks or single platforms, being the most relevant as follow:

<b>Açores</b>	Met Station (6); Wave Buoy (6); HC-Buoy (1)
<b>Madeira</b>	Met Stations (2); Wave Buoys (3) HC-Buoy (2); Ocean Buoy (1)
<b>Canary Islands</b>	Met Station (24); Wave Buoy (4) HC-Buoy (2); Ocean Buoy (3) Gliders (3)
<b>Cape Verde</b>	Met Station (2); HC-Buoy (1) Ocean Buoy (1)

Table I. Current number and type of autonomous observing platforms by archipelago (2014).

Additionally, these autonomous and cutting-edge observing technologies are supported by more conventional systems and devices (ship-based sensors and instruments) also addressed to ocean monitoring, as well as remote sensing tools or even “customized” turtles carrying on sensors and satellite modems for real-time telemetry.

This representative and multidisciplinary large set of autonomous observing platforms currently comprising the R3M is one of the derived results from more than 15-years of partnership work carried out through regional and international projects mainly funded by the EU-INTERREG and EU-Framework programs, where highlight among others ACOMAR, CLIMAAT, ALERMAC, ANIMATE, MERSEA, GROOM, EuroSITES, AMASS, CLIMARCOST, MACSIMAR, ESTRAMAR, MARES and FiXO3.

In parallel, there are other networks joining the R3M initiative managed and funded by national government bodies like Instituto Hidrografico (Lisbon) and Puertos del Estado (Madrid) as reference initiatives covering the whole national ocean space for Portugal and Spain respectively, according to needs and capabilities.



Fig.3. Moored buoy located in Canary Island as example of Eulerian autonomous platform.



Fig.4. Underwater glider as example of Lagrangian autonomous platform.

The R3M initiative is led by a core group of institutions from Portugal (IH, UAC, APRAM, OOM, APRAM), Cape Verde (INDP and ENAPOR) and Spain (ULPGC, ICCM, PLOCAN, AEMET, IEO, Puertos del Estado), supported as well by associated partners from other European countries (France, Germany and UK, mainly).

### 3.3. Data portal

During the last two years, the R3M (Fig. 5) has experienced significant updates with a set of independent but compatible applications to process, store and disseminate information gathered through different oceanographic platforms (Cornillon, 2003). These applications have been implemented using open standards, such as HTML and CSS, and open source software, like Python as programming language and Django as framework web. In some cases, the updates have been developed following well-known international standards and protocols (SeaDataNET, GROOM and OceanSites). All details can be checked through the following website: <http://r3m.estramar.eu/index.php/es/>



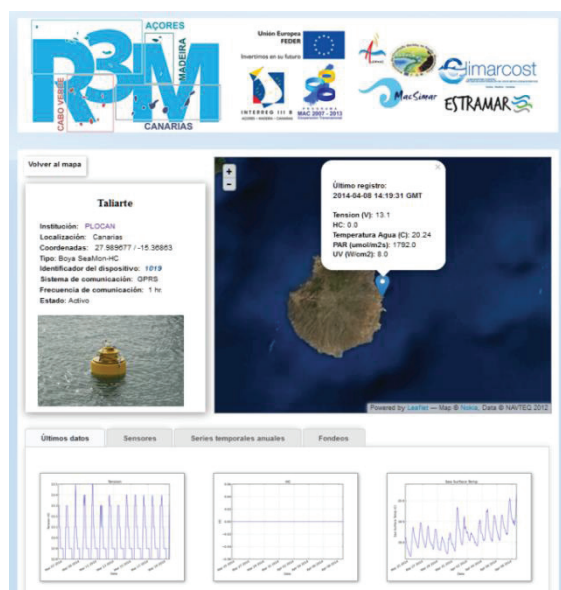


Fig. 5. Screenshot showing real-time information from a moored buoy as example of data display available through R3M portal.

#### 4. CONCLUSIONS

The need, importance and specific difficulty to monitor in a coordinated, efficient and sustainable way, ocean regions like the Macaronesia, is reflected with the evolution and current status of the R3M, after more than fifteen years of cooperative effort from a wide and multidisciplinary group of entities, both public and private institutions, linked to marine and maritime sectors. This path has allowed to share and to bring closer common and specific needs and experiences based on their activity in the ocean space, both the inshore and offshore, being one of the most important to develop a common data portal (R3M) where to display and manage useful information. However, despite significant advances in technological and cooperative terms, they are still gaps to accordingly cover based in current and further end-user's needs.

#### Acknowledgements

The authors truly acknowledge to the EU-INTERREG and EU-Framework programmes for founding during the last fifteen years (and still) a large number of projects and specific actions at regional and international level, enabling to setup, improve and keep ongoing in a sustainable way the R3M initiative. A special mention to all involved partners and associates from different socio-economic sectors (universities, governments, agencies, authority harbours, private companies, etc.) in the marine and maritime fields, for supporting direct or indirectly this challenging and useful initiative for the Macaronesia region.

#### REFERENCES

- Bahurel, P. *et al.* (2009). Ocean monitoring and forecasting core services. *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society*. Venice, Italy, 21-25 September 2009, ESA Publication WPP-30.
- Cornillon, P. *et al.* (2003). OPeNDAP: Accessing Data in a Distributed, Heterogeneous Environment. *Data Science Journal*, Vol 2, pp. 164-174.
- De La Beaujardiere, J. (2008). The NOAA IOOS Data Integration Framework: Initial implementation report. *Conference Proceedings IEEE/MTS OCEANS'08*. Pp. 1-8. ISBN: 1-4244-2619-5.
- Dexter, P., and Summerhayes, C.P., (2010). Ocean Observations: the Global Ocean Observing System (GOOS). Chapter 11 in Pugh, D., and Holland, G., (eds.), *Troubled Waters: Ocean Science and Governance*. CUP, Cambridge, 161-178.
- Fer, I., and Peddie, D., (2012). Navigation performance of the SailBuoy: Bergen to Scotland mission. 12 pp, Christian Michelsen Research AS, Bergen, Norway..
- GEO 1000R. (2005). 10-Year Implementation Plan Reference Document. *ESA Publications*. Bruce Battrick Ed. ISBN. 92-9092-986-3. pp. 209
- IOC. (2005). An implementation strategy for the coastal module of the Global Ocean Observing System. *UNESCO-IOC*, 148,141pp.
- Kullenberg, G., and Rebert, JP., (1997). Regional GOOS for sustainable development and management. *Operational Oceanography: The Challenger for European Co-operation*. Elsevier *Oceanography Series* 62, 69-79.
- Lampitt, R., and Favali, P., (2009). In situ Sustained Eulerian Observatories", *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society*. Venice, Italy, 21-25 September 2009, ESA Publication WPP-30
- Neuer, S. *et al.* (2007). Biogeochemistry and hydrography in the Eastern Subtropical North Atlantic gyre. Results from the European time-series station ESTOC. *Progress In Oceanography*, Vol. 72, Issue 1, pp 1-29.
- Rudnick, D. *et al.* (2004). Underwater Gliders for Ocean Research. *Marine Technology Journal*. Vol. 38, 1, pp. 48-59.
- WCRP-JCOMM (2011). Workshop on Coordinated Global Wave Climate Projections (COWCLIP). Final Report. *JCOMM Technical Reports*. No. 55. pp. 51.

## Áreas Marinhas Protegidas: gestão e sustentabilidade

E. Dias<sup>(1)</sup>, J. Marques<sup>(1)</sup>, A. Teixeira<sup>(1)</sup>, S. Salvador<sup>(1)</sup>, S. Moutinho<sup>(1)</sup>, P. Simão<sup>(1)</sup>, V. Lopes<sup>(1)</sup>,  
A. Castro<sup>(1)</sup> e A. Monteiro<sup>(1)</sup>

(1) Direção Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos ([edias@dgrm.mam.gov.pt](mailto:edias@dgrm.mam.gov.pt))

**Resumo:** A conservação do meio marinho tem sido uma preocupação crescente a nível mundial, pela importância dos mares na sustentabilidade da vida no planeta, assistindo-se nas últimas décadas a uma tomada de consciência global para as questões ambientais.

Áreas Marinhas Protegidas (AMP) são áreas delimitadas no mar, sujeitas a regulamentação específica e designadas para potenciar a conservação dos recursos naturais, tendo por base o seu uso sustentável. A proteção dos ecossistemas marinhos está consagrada em diversas estratégias e programas de ação, destacando-se a Estratégia Marítima da UE para a Área do Atlântico, a Estratégia Nacional para o Mar 2013-2020 e a Diretiva Quadro Estratégia Marinha, que determinam o estabelecimento de áreas marinhas protegidas, designadamente uma Rede de AMP.

Atendendo às características do espaço marítimo nacional, será necessário associar um Sistema de Informação Geográfica à gestão desta rede de AMP. Os dados inseridos devem traduzir o estado da arte do conhecimento científico disponível para os diversos temas em causa.

**Palavras-chave:** Área Marinha Protegida, Diretiva-Quadro da Estratégia Marinha, SIG, Imagens de Satélite.

### 1. INTRODUÇÃO

A conservação do meio marinho tem sido uma preocupação crescente a nível mundial pela inequívoca importância dos mares e oceanos na sustentabilidade da vida no planeta e, em particular para o Homem e para as suas atividades. Os ecossistemas marinhos são de facto insubstituíveis, enquanto fonte global de alimentos e de bem-estar. Nas últimas décadas tem-se assistido a uma tomada de consciência global, abrangendo várias esferas do conhecimento e de cidadania, nomeadamente no que respeita à proteção dos recursos biológicos e geológicos), e também dos aspetos culturais.

Pretende-se implementar em Portugal uma rede coerente de Áreas Marinhas Protegidas (AMP) com o objetivo de auxiliar na proteção dos recursos marinhos, e de contribuir para a manutenção do bom estado ambiental e para a gestão sustentável das pescas. Tomando como base a disponibilidade dos estudos de caracterização que já existem, podem ser adotadas medidas conservacionistas adequadas à resolução de situações concretas, e sempre baseadas nos melhores dados disponíveis. Assim, na criação de uma AMP, há que integrar o conhecimento existente e desenvolver um conjunto de critérios e procedimentos harmonizados, que incluam cenários de gestão das atividades humanas, com vista à defesa da biodiversidade, e também à salvaguarda da produtividade das atividades económicas envolvidas. Deste modo, o estabelecimento de uma AMP deverá constituir uma solução, e não um problema.

### 2. ÁREA MARINHA PROTEGIDA

Uma AMP é entendida como uma área geográfica delimitada no mar, onde a intervenção humana está condicionada e sujeita a regulamentos específicos, tendo em vista primordialmente objetivos de

proteção ambiental. Constitui um instrumento de gestão territorial e ambiental, estabelecido numa área bem definida, para potenciar a longo prazo a conservação dos seus recursos naturais, tendo por base o uso sustentável e o desenvolvimento socioeconómico (Correia, 2013). Neste contexto, criar uma AMP, representa uma forma de proteger a biodiversidade e, promover a compreensão dos sistemas marinhos, e auxiliar na manutenção da sua produtividade e na gestão das atividades de pesca e navegação (tráfego marítimo).

A prévia seleção dos locais indicados para o estabelecimento de AMP é uma etapa fundamental do processo. Assim, a constituição de uma AMP deve ser planeada autonomamente para cada região biogeográfica, devendo incluir conceptualmente todas as espécies presentes em cada *habitat* da região e, considerar zonas de transição com uma extensão adequada, de forma a evitar uma transição abrupta de uma área protegida para uma área sem proteção (Miceli *et al.*, 2009).

#### 2.1. Tipos de AMP

O estabelecimento de uma AMP pode assentar em dois conceitos, ou princípios de base, a saber:

- **De uso sustentável:** área protegida onde é permitido o uso dos seus recursos, mas de forma regulamentada, para garantir os objetivos de conservação a longo do tempo;
- **De proteção integral:** área completamente protegida da atividade humana direta, onde não é permitida a extração ou modificação dos recursos marinhos existentes.

#### 2.2. AMP em Portugal

Em Portugal existem diferentes estatutos de proteção aplicados ao meio marinho, que estão na origem da

criação de diferentes tipos de AMP, a saber: (1) áreas criadas ao abrigo das Diretivas *Aves* e *Habitats* da União Europeia, e que por esse motivo fazem parte da Rede Natura 2000; (2) áreas criadas por legislação interna do país, e que integram a Rede Nacional de Áreas Protegidas (RNAP); (3) AMP designadas ao abrigo da Convenção OSPAR (Correia, 2013).

Estas AMP foram estabelecidas em diferentes zonas do espaço marítimo, nomeadamente: (1) na zona costeira; (2) na zona económica exclusiva (até às 200 milhas marítimas); e (3) nos espaços de jurisdição nacional situados na plataforma continental estendida (fundos oceânicos que ficam para além das 200 milhas marítimas).

Salienta-se que em Portugal o primeiro local a ser classificado como AMP, em 1971, devido à importância dos seus recursos marinhos, foram as ilhas Selvagens, (situadas entre os arquipélagos da Madeira e das Canárias). No que respeita a Portugal Continental, a primeira AMP criada foi a Reserva Natural da Berlenga, em 1981.

### 2.2.1. AMP situadas em zona costeira

As AMP criadas em zona costeira situam-se nas regiões indicadas na Tabela I.

Tabela I – AMP situadas na zona costeira de Portugal.

AMP em Zona Costeira	Área (km <sup>2</sup> )
<b>Continente (total)</b>	<b>451,18</b>
Parque Marinho do Litoral Norte	4,92
Reserva Marinha das Berlengas	94,60
Parque Marinho Professor Luiz Saldanha	52,75
Reserva Natural das Lagoas de St. André e da Sancha	10,33
Parque Marinho do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina	288,58
<b>Madeira (total)</b>	<b>2.081,62</b>
Reserva Natural das ilhas Desertas	764,62
Reserva Natural das ilhas Selvagens	1.245,30
Reserva Natural do Sítio da Rocha do Navio (Ilhéu da Viúva)	17,10
Reserva Natural Parcial do Garajau	3,75
Rede de AMP do Porto Santo	26,74
Zona Especial de Conservação da Ponta de S. Lourenço	24,11
<b>Açores (total)</b>	<b>1.241,99</b>
<b>Ilha do Corvo (total)</b>	<b>257,38</b>
(4) Área Protegida de Gestão de Recursos da Costa do Corvo	257,38
<b>Ilha do Faial (total)</b>	<b>189,19</b>
Reserva Natural das Caldeirinhas	0,10
(5) Área protegida de Gestão de Recursos do Canal Faial-Pico/Sector Faial	173,86
Área protegida de Gestão de Recursos do Castelo Branco	1,33
Área protegida de Gestão de Recursos dos Capelinhos	5,00
Área protegida de Gestão de Recursos dos Cedros	8,91
<b>Ilha do Pico (total)</b>	<b>74,38</b>
Área protegida de Gestão de Recursos do Porto das Lages	1,53
Área protegida de Gestão de Recursos da Ponta da Ilha	5,96
(5) Área protegida de Gestão de Recursos	66,89

do Canal faial-Pico/Sector Pico	
<b>Ilha de Santa Maria (total)</b>	<b>571,89</b>
(8) Reserva natural dos Ilhéus das Formigas e Recife de Dollabarat	523,93
Área protegida de Gestão de Recursos da Baía de São Lourenço	1,78
Área protegida de Gestão de Recursos da Costa Norte	24,58
Área protegida de Gestão de Recursos da Costa Sul	21,60
<b>Ilha da Graciosa (total)</b>	<b>7,77</b>
Reserva Natural do Ilhéu do Baixo	1,39
Reserva Natural do Ilhéu da Praia	2,19
Área protegida de Gestão de Recursos da Costa Sudeste	1,36
Área protegida de Gestão de Recursos da Costa Noroeste	2,83
<b>Ilha de São Miguel (total)</b>	<b>74,78</b>
Área Protegida para a Gestão de Habitats ou Espécies do Ilhéu de Vila Franca do Campo	0,02
Área Protegida de Gestão de Recursos da Caloura – Ilhéu de Vila Franca do Campo	13,49
Área Protegida de Gestão de Recursos da Costa Este	3,63
Área Protegida de Gestão de Recursos da Ponta do Cintrão – Ponta da Maia	23,10
Área Protegida de Gestão de Recursos do Porto das Capelas – Ponta das Calhetas	14,99
Área Protegida de Gestão de Recursos da Ponta da Ferraria – Ponta da Bretanha	19,55
<b>Ilha das Flores (total)</b>	<b>39,74</b>
Área Protegida de Gestão de Recursos da Costa Norte	39,74
<b>Ilha de São Jorge (total)</b>	<b>19,42</b>
Área Protegida de Gestão de Recursos da Costa Oeste	2,09
Área Protegida de Gestão de Recursos de Entre Morros	2,47
Área Protegida de Gestão de Recursos da Costa das Fajãs	8,76
Área Protegida de Gestão de Recursos do Topo	6,10
<b>Ilha Terceira (total)</b>	<b>7,73</b>
Área Marinha Protegida de Gestão de Recursos das Quatro Ribeiras	3,57
Área Marinha Protegida de Gestão de Recursos da Costa das Contendas	1,81
Área Marinha Protegida de Gestão de Recursos dos Ilhéus das Cabras	1,12
Área Marinha Protegida de Gestão de Recursos das Cinco Ribeiras	0,03
Área Marinha Protegida de Gestão de Recursos da Baixa da Vila Nova	0,42
Área Marinha Protegida de Gestão de Recursos do Monte Brasil	0,48
<b>Total</b>	<b>3.774,79</b>

### 2.2.2. AMP situadas em zona económica exclusiva

As AMP criadas na zona económica exclusiva (ZEE) situam-se nas regiões indicadas na Tabela II.

Tabela II – AMP situadas na zona económica exclusiva.

AMP em Zona Económica Exclusiva	Área (km <sup>2</sup> )
(7) Banco D. João de Castro	369,90
(2) Campo Hidrotermal Menez Gwen	95,00
(3) Campo Hidrotermal Lucky Strike	192,18
(6) Monte Submarino Sedlo	4.013,00
(4) Área Oceânica do Corvo	2.669,00
(5) Área Oceânica do Faial	2.594,00
<b>Total</b>	<b>9.933,08</b>



### 2.2.3. AMP situadas na plataforma continental estendida

Existem AMP que foram designadas ao abrigo da Convenção OSPAR localizadas na plataforma continental estendida, com o objetivo de proteger “montes submarinos”, definidos como todas as formações geológicas cujos cumes se elevam a mais de 1000m acima do leito do oceano e a maioria tem uma origem vulcânica (OSPAR, 2010). Nas áreas marinhas sob proteção da Convenção OSPAR, o país compromete-se a tomar medidas de gestão para proteger o solo e subsolo marinhos, e a Convenção compromete-se a estender a proteção à coluna de água. Estas AMP, cujas águas estão sob proteção da Convenção OSPAR, situam-se nas regiões indicadas na Tabela III. As AMP situadas na ZEE e na plataforma continental estendida que estão ao abrigo da Convenção OSPAR apresentam-se na Fig. 1.

Tabela III – AMP situadas na plataforma continental estendida.

AMP na plataforma continental estendida	Área (km <sup>2</sup> )
(1) Campo Hidrotermal Rainbow	22,17
(9) Monte Submarino Altair	4.383,76
(11) Monte Submarino Antialtair	2.806,55
(12) Monte Submarino Josephine	19.365,00
(10) Área da Crista Médio-Atlântica a Norte dos Açores (MARNA)	93.572,46
<b>Total</b>	<b>120.149,94</b>

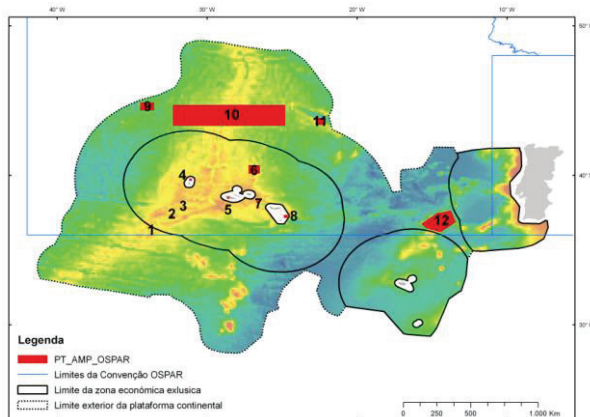


Fig. 1. Localização das AMP ao abrigo da Convenção OSPAR (números com correspondência às Tabelas II e III).

Salienta-se que o Campo Hidrotermal Rainbow, cuja jurisdição está atribuída a Portugal, foi o primeiro caso mundial de uma AMP fora da ZEE concedida a um País. Na Tabela IV resumem-se as áreas totais das AMP situadas em cada zona.

Tabela IV – Resumo das AMP de Portugal.

Zona	Área (km <sup>2</sup> )	
Costeira	Continente	451,18
	Madeira	2.081,62
	Açores	1.241,99
ZEE	9.933,08	
Fora da ZEE	120.149,94	
<b>Total</b>	<b>133.857,81</b>	
OSPAR (km <sup>2</sup> do total)	125.842,10	

### 3. AQUISIÇÃO DE DADOS DE IMAGENS DE SATÉLITE

As oportunidades criadas pela Diretiva Quadro Estratégia Marinha (DQEM), conjugadas com os objetivos do Programa Copernicus (Agência Espacial Europeia), conduziram à reflexão da utilização de dados de imagens de satélite para obter informação necessária para estudos de base sobre o meio marinho em áreas sob jurisdição nacional. Atualmente, as imagens de satélite fornecem informação de base só nos níveis da superfície e sub-superfície do mar, e sobre poucas variáveis: (1) temperatura, (2) nível, (3) cor. A obtenção de informação sobre outras propriedades não medidas pelo satélite, e/ou sobre distribuições verticais a maior profundidade, requer o uso de técnicas indiretas e implica a utilização de modelos de previsão mais ou menos sofisticados. O valor dos dados obtidos a partir das imagens aumenta quando combinado com outras fontes de informação, nomeadamente com dados obtidos *insitu* e com modelos matemáticos. As imagens de satélite fornecem dados sistemáticos, de acordo com a periodicidade da passagem do satélite, embora a qualidade dependa da transparência da atmosfera, sendo a sua validação com dados *insitu* essencial. Neste contexto, considerando a grande variabilidade de *habitats* marinhos, as pressões a que estão sujeitos (ex. navegação, pesca, introdução de substâncias de origem antropogénica) e os impactos associados, considera-se de todo relevante envidar esforços no estudo das AMP a nível nacional, nomeadamente quanto aos seguintes aspetos:

- Distribuição de biótopos – técnicas de cartografia de *habitats* marinhos;
- Melhorar a rastreabilidade da poluição marinha;
- Avaliar as pressões exercidas no meio marinho decorrentes das atividades antropogénicas – esforço de pesca e tráfego marítimo (navegação);
- Na área sob jurisdição nacional focar o estudo dos *habitats offshore*, nomeadamente nas AMP que incluam montes submarinos.

Para além disso, no âmbito da implementação da DQEM considera-se de grande importância utilizar as imagens de satélite para a consolidação e/ou aquisição de conhecimentos enquadráveis em estudos que possam contribuir para aprofundar o conhecimento dos ecossistemas marinhos portugueses. No que respeita aos *habitats* marinhos devem ser preconizadas medidas que permitam identificar a sua presença, e caracterizar o seu estado atual, bem como quantificar as pressões a que estão sujeitos, apresentando-se na Tabela V os principais *habitats* marinhos a considerar (OSPAR, 2008).



Tabela V – Lista OSPAR dos habitats marinhos.

Habitat OSPAR	
Coastal	Littoral chalk communities
	Intertidal <i>Mytilus edulis</i> beds on mixed and sandy sediments
	Intertidal mudflats
	<i>Ostrea edulis</i> beds
	<i>Zostera</i> beds
	<i>Cymodocea meadows</i>
Shelf sea	<i>Modiolus modiolus</i> beds
	<i>Sabellaria spinulosa</i> reefs
	Maerl beds
	Sea-pen and burrowing megafauna communities
Deep-sea	<i>Lophelia pertusa</i> reefs
	Coral gardens
	Carbonate mounds
	Deep-sea sponge aggregations
	Oceanic ridges with hydrothermal vents/fields
	Seamounts

#### 4. UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA GESTÃO DE AMP

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma ferramenta constituída por hardware e software que através de procedimentos computacionais permite a representação geoespacial de objetos e fenómenos do mundo real através de modelos de dados específicos: (1) vetorial – representação precisa da localização dos elementos no espaço (pontos, linhas e polígonos); e (2) matricial – representação das propriedades do espaço, dividindo-o em células regulares designadas por pixel. Os SIG são muito mais do que uma ferramenta de representação do espaço, pois permitem a recolha, armazenamento, geoprocessamento e análise de dados georreferenciados (com diferentes formatos e origens), possibilitando a sua integração num mesmo sistema e consequentemente a realização de operações de análise espacial rigorosas, com a implantação desses dados a escalas adequadas, permitindo a produção de cartografia digital temática (Fig. 2). A sua utilização é cada vez mais extensa e difundida, tendo atualmente um carácter de uso universal pela comunidade geoespacial.

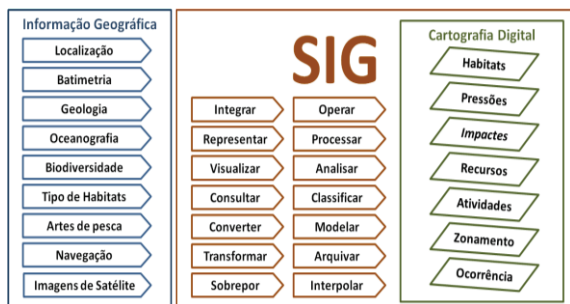


Fig. 2. Sistema de Informação Geográfica.

Assim, no processo da caracterização e delimitação de uma AMP, em que são produzidos um número considerável de geodados, que exigem a sua integração num mesmo sistema de informação, e o

geoprocessamento ajustado, implicando operações de análise espacial específicas para a extração de informação destinada a produzir cartografia digital de mapas temáticos, constata-se ser essencial e imprescindível a utilização dos SIG. Este processo estende-se desde a criação até à gestão de uma AMP, constituindo por isso uma mais-valia a curto, médio e longo prazo.

#### 5. CONCLUSÕES

Os dados espaciais das AMP, obtidos através de meios diretos, em estudos específicos e orientados (e.g. navios oceanográficos, etc.) ou por meios indiretos, nomeadamente as imagens de satélite, determinam a utilização sistemática de técnicas de análise espacial, disponíveis nos sistemas de informação geográfica (SIG), pelo que recorrem habitualmente à utilização daqueles sistemas para proceder à gestão integrada dos dados e para produzir informação temática daquelas áreas protegidas. Considera-se assim, que um sistema de informação geográfica se configura adequado para a localização, delimitação e gestão integrada das AMP nacionais, permitindo a construção de mapas temáticos, com informação relativa às espécies, aos habitats e à utilização humana.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à Direção Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos, e ao Parque Natural da Madeira, a cedência de dados para elaboração do presente trabalho.

#### REFERÊNCIAS

Correia, M. (2013). *Avaliação da importância, potencial e constrangimentos da designação do Banco Goringe como Sítio de Interesse Comunitário*. Dissertação de Mestrado. Lisboa (Portugal), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 139pp.

Miceli, M., Scott, P., Ximenes, A. (2009). Seleção de Áreas Marinhas Protegidas potenciais para o gerenciamento pesqueiro: um estudo de caso da região sudeste-sul do Brasil. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 4085-4092.

OSPAR (2008). *List of Threatened and/or Declining Species and Habitats*. Series. Publication number 2008-6. 4 pp.

OSPAR (2010). *Background document for Seamounts*. Biodiversity Series. Publication number 492/2010. 30 pp.

## A instabilização de taludes naturais e os danos registados no cais de Sabrosa, no Rio Douro

A. Vega<sup>(1)</sup>, A. Ferreira<sup>(2,3)</sup>, A. da Silva<sup>(3)</sup>, E. Dias<sup>(2)</sup>

(1) ENVIRON Iberia S.L.

(2) DGRM, Direcção Geral dos Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos, asf1954@netcabo.pt

(3) CICEGe / Departamento Ciências da Terra - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Univ. NOVA Lisboa

**Resumo:** Recentemente, o cais de Sabrosa, no Rio Douro, apresentou um conjunto de deformações nos terrenos em que se encontra construído que se traduziram em alguns danos estruturais nas respectivas infra-estruturas. Na sequência, a sua exploração foi limitada. Procedeu-se, então, a um estudo geológico e geotécnico aprofundado sobre a zona, envolvendo uma campanha de prospecção e ensaios, revisão bibliográfica dos dados existentes e, finalmente, a integração dos dados num SIG, para avaliar os perigos geológicos e geotécnicos do local. A metodologia aplicada, tirando partido das potencialidades oferecidas por um SIG em armazenar, editar e analisar dados georreferenciados, permitiu identificar as causas dos problemas ocorridos, bem como seleccionar as soluções viáveis para o caso de estudo, o que se propõe apresentar nesta comunicação.

**Palavras-chave:** Cais fluvial, Rio Douro, Instabilização de vertentes, Geoperigos, Cartografia geotécnica.

### 1. INTRODUÇÃO

A navegabilidade do rio Douro tem uma importância significativa no desenvolvimento económico de toda a região, sendo o factor determinante para o incremento do turismo. Assim, nos cerca de 180 km de rio navegável, existe um número significativo de cais e outras instalações portuárias. Os acidentes ocorridos em algumas dessas estruturas portuárias conduziram a que a entidade então com jurisdição, o Instituto Portuário e de Transportes Marítimos - IPTM, IP, implementasse um conjunto de estudos, dois deles ao abrigo de um protocolo com a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, com vista a estudar as situações particulares dos cais de Sabrosa e da Ferradosa. Este trabalho focar-se-á exclusivamente sobre o caso do cais de Sabrosa, situado no trecho a montante da barragem da Régua e em frente ao cais do Pinhão.

Este cais, situado imediatamente a jusante da confluência do Rio Pinhão com o Rio Douro (Fig. 1), apresenta uma plataforma de embarque, uma pequena rampa varadouro, e uma extensa zona de muros de suporte, em gabiões, a montante e a

jusante da plataforma de embarque. Para garantir fundos, os navios cruzeiro encostam em duas estacas que servem de duques de Alba.

As encostas sobrejacentes ao cais apresentam indícios de escorregamentos (Fig. 2, círculos a azul)), bem como uma geologia que inclui um acidente tectónico importante – um cavalgamento no seio de depósitos de xistos e grauvaques (Super-Grupo Dúrico Beirão). Recentemente verificaram-se roturas nos muros de gabiões (Fig. 2, parte inferior), o que levou o IPTM, IP, a estudar mais aprofundadamente a zona, com vista a seleccionar uma recuperação adequada para aquela estrutura portuária.

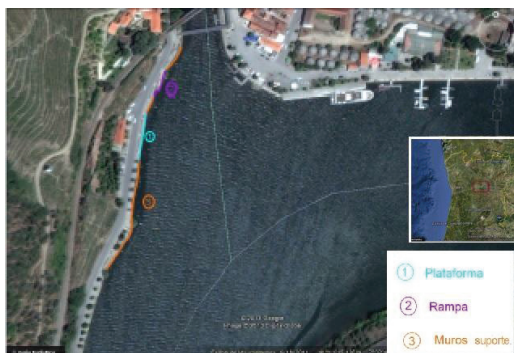


Fig. 1. Localização do cais de Sabrosa, e sua constituição (adaptado de Orive Vega, 2013).



Fig. 2. Aspecto parcial do cais de Sabrosa, escorregamentos na encosta a montante e localização da rotura no muro de gabiões.



Neste artigo pretende-se analisar as situações de instabilidade presentes, com recurso à cartografia geotécnica, com especial ênfase a cartas de susceptibilidade à instabilização, indicadores de potenciais ocorrências de processos geológicos naturais ou induzidos pelas actividades antrópicas, derivadas automaticamente com recurso a Sistemas de Informação Geográfica - SIG.

## 2. METODOLOGIA

A informação geológica e geotécnica da área foi completada com uma campanha de 16 sondagens e ensaios em terra e na água, ao longo de todo o cais em apreço (IPTM, 2011). Posteriormente, foi complementada com um estudo geológico de campo abrangendo a encosta situada a montante, com identificação e cartografia das zonas instabilizadas, ou com indícios de instabilização, bem como das estruturas geológicas ocorrentes.

Toda a informação disponível, foi georreferenciada e integrada num SIG, com a elaboração de um conjunto de cartas temáticas, facilitando a compreensão das características físicas da zona. O procedimento para a elaboração desses mapas temáticos está sintetizada nos fluxogramas das Figs. 3 e 4 (Orive Vega, 2013), detalhando-se em seguida.

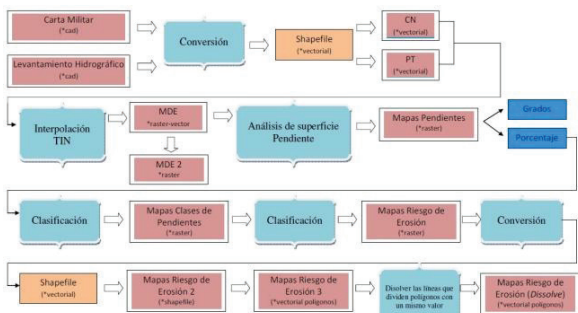


Fig. 3. Fluxograma para obtenção das cartas de susceptibilidade à erosão com SIG.

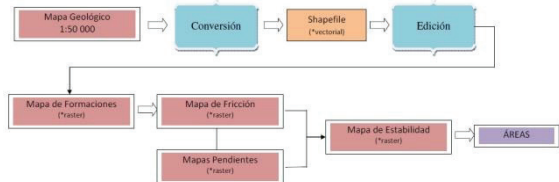


Fig. 4. Fluxograma para obtenção das áreas em perigo de instabilidade com base na litologia e declives do terreno.

## 3. MODELAÇÃO COM SIG

A implementação do modelo da área em SIG começou pela elaboração de um Modelo Digital de Altitudes (DEM) - Fig. 5, utilizando oito classes de altitudes, entre um mínimo de 52,1 m e 450 m, com classes separadas de 50 m cada.

Em seguida e após validação, esta carta serviu de base à derivação de uma carta de declives; optou-se por utilizar uma versão simplificada da classificação apresentada pela Universidade Estadual de São Paulo (UNESP – Zuquette & Gandolfi, 2004),

considerando unicamente as três classes listadas na Tabela I, considerados os intervalos relevantes para avaliar a susceptibilidade à erosão/instabilização da área em referência. Contudo, para obter estas últimas cartas, a informação física do declive tinha de ser cruzada com a dos diferentes tipos de terrenos que ocorressem na região e as respectivas características de resistentes.

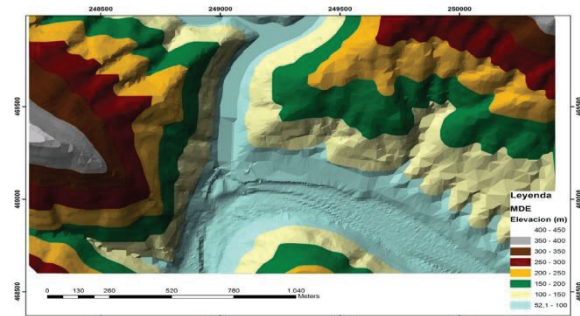


Fig. 5. Modelo Digital de Elevação (Orive Vega, 2013)

Tabela I. Adaptação da classificação da UNESP para as inclinações e perigo de erosão (Orive Vega, 2013).

Classe de declive	Declive (%)	Perigo de erosão
1	< 5	Baixo
2	5 - 45	Médio
3	> 45	Elevado

Para a análise da litologia tomou-se como base do reconhecimento de campo, a respectiva Carta Geológica de Portugal na escala 1:50.000 (Fig. 6). Na região existem duas formações autóctones do Super-Grupo Dúrico Beirão: as formações da Bateira e da Ervedosa do Douro, que contactam entre si por cavalgamento (NW-SE e inclinando para SW), identificado no local (Fig. 7) e, mais a NE, existe um carreamento sin-sedimentar. Estas estruturas resultam, respectivamente, das fases de deformação sarda e hercínica.

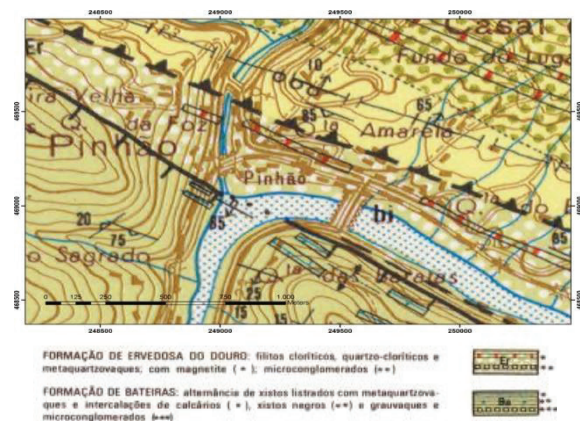


Fig. 6. Extracto da Carta Geológica de Portugal, folha 10D: Alijó (adaptado de Sousa e Sequeira, 1989), onde se identificam as duas formações cámbrias aflorantes, e o contacto por cavalgamento entre elas.

A natureza destes terrenos é bem diferente, distinguindo-se a primeira formação da segunda

pelas persistentes e espessas intercalações grauvacóides e a composição mais silicatada em oposição a filitos e metaquartzozoaques menos resistentes; estas diferenças de composição conferem uma morfologia muito típica e distinta e permite identificar no terreno a primeira daquelas estruturas tectónicas (Fig. 7).



Fig. 7. Cavalgamento entre as formações da Bateira, à esquerda, e da Ervedosa, à direita (linha a vermelho).

A carta de áreas potencialmente instáveis por movimentos de massa utilizou ainda os resultados da campanha de ensaios e prospecção geotécnica, que identificou (IPTM, 2011) uma espessura de solos aluvionares e de alteração sob as estruturas portuárias, que variou entre 3,9 m (sul) e 10,0m (a norte), bem como alguns valores de referência de ângulos de atrito para as litologias presentes na encosta a montante do cais, para obter uma carta derivada no SIG. As ocorrências de movimentos de massa observadas no levantamento de terreno foram utilizadas para validar esta carta.

#### 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As principais cartas derivadas pela metodologia indicada encontram-se representadas nas Fig. 8 a 10.

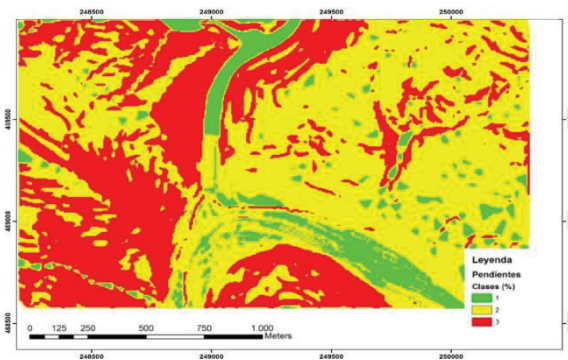


Fig. 8. Carta de declives segundo a classificação da Tabela 1 (Orive Veja, 2013).

Da análise da carta de declives, verifica-se que uma percentagem significativa da encosta situada a

montante do cais de Sabrosa possui declive superior a 45%.

Este facto, associado à cobertura de alteração dos terrenos existentes da Formação da Ervedosa, situados a NE do cavalgamento, e divididos em socacos para produção do vinho do Porto, possibilita que uma área significativa (num total aproximado de 2,6 km<sup>2</sup>) da encosta na zona envolvente ao cais de Sabrosa se apresente como potencialmente vulnerável a sofrer erosão do seu solo (Figura 9, áreas a azul).

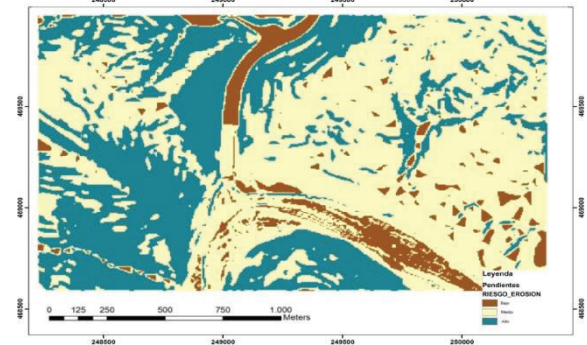


Fig. 9. Carta de susceptibilidade à erosão (Orive Veja, 2013)..

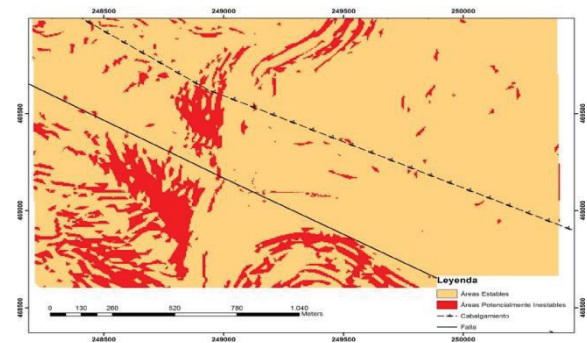


Fig. 10. Carta de risco potencial de movimentos de massa, com distinção entre áreas potencialmente instáveis (a vermelho) das tendencialmente estáveis.

A estabilidade da zona pode, no entanto, ser comprometida também pela presença do cavalgamento que afecta as formações da Bateira e Ervedosa, que indicia a elevada deformação que os terrenos apresentam nesta zona. De facto, embora o risco potencial de ocorrência de movimentos de terrenos na encosta (Fig. 10) ocupe uma área relativamente reduzida (cerca de 400 m<sup>2</sup>) deverá, todavia, ser tida em conta devido ao elevado declive dos taludes envolvidos e à fracturação apresentada por estes.

#### 5. CONCLUSÕES

O estudo apresentado visou ampliar o conhecimento envolvente ao cais de Sabrosa, situado a jusante da confluência do Rio Pinhão com o Rio Douro, a fim de analisar se poderiam existir fenómenos de instabilização na encosta que pudessem fazer perigar a estabilidade futura da reconstrução deste cais,



associados à deformação tectónica intensa que os terrenos do substrato paleozóico apresentam.

A metodologia adoptada permitiu uma compreensão adequada dos fenómenos geológicos ocorrentes e confirmar que os acidentes verificados no cais de Sabrosa, nomeadamente a rotura do muro de suporte em gabiões, não tem causa geológica e geotécnica, mas antes se deve à própria concepção da solução, nomeadamente à não consideração da corrosão dos elementos metálicos dos gabiões, quando sujeitos a períodos de molhagem e secagem, com a variação dos níveis de água da albufeira na barragem da Régua.

Como solução para a recuperação deste cais, está prevista a execução de uma cortina contínua de estacas prancha ancoradas, aumentando também a zona de atracagem para um valor próximo dos 350 m, permitindo a atracação simultânea de quatro barcos-hotel.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à DGRM a possibilidade de utilização de dados do ex-IPTM, IP para a realização desta comunicação.

### REFERÊNCIAS

- Orive Vega, A. (2013). *Cartografia Geotécnica. Aplicación a los Embarcaderos de Sabrosa y Ferradosa*. Lisboa: FCT-UNL, 113 pp.
- IPTM - Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos, I.P. (2011). *Reconhecimento Geológico – Geotécnico, Cais de Sabrosa e Pinhão*. Relatório não publicado, Proc.: 19911, Lisboa.
- Sousa M. B., e Sequeira A. J. D. (1989). *Carta Geológica de Portugal na escala de 1:50.000, Folha 10-D: Alijó*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal, 59 pp.
- Zuquette, L. V. & Gandolfi, N., 2004. *Cartografia geotécnica*. São Paulo: Oficina de textos, 190 pp.

# Ferramenta SIG para Reconstituição de Paleobatimetrias do Oceano Atlântico Norte

N. Simões<sup>(1)</sup>, C. Veiga-Pires<sup>(1)</sup> e H. Fernandez<sup>(2)</sup>

(1) Universidade do Algarve, CIMA. nuno\_simoes58@hotmail.com

(2) Universidade do Algarve, ISE.

**Resumo:** As expedições oceanográficas, nacionais e internacionais, das últimas décadas, permitiram a recolha de um elevado número de testemunhos sedimentares, que deram origem, por sua vez, a uma grande quantidade de dados e consequentes bases de dados. O tratamento e a gestão dessa informação, através de um sistema de informação geográfica, podem trazer mais-valias, nomeadamente através da produção de nova informação. No presente trabalho, pretende-se exemplificar esta mais-valia com o desenvolvimento de uma ferramenta em ArcGIS™ que permita criar modelos de paleobatimetria ao longo do Quaternário. Como a batimetria é uma das variáveis que condiciona a circulação oceânica atual, a existência de uma paleobatimetria realista permite o aperfeiçoamento dos modelos paleoceanográficos e paleoclimáticos. Nesta perspetiva, serão apresentados os resultados preliminares da reconstrução da paleobatimetria de uma parte do Atlântico Norte durante o Último Máximo Glacial.

**Palavras-chave:** Base de dados sedimentares, Oceano Atlântico Norte, ArcGIS™, Paleoceanografia, Paleobatimetria.

## 1. INTRODUÇÃO

Muitos processos marinhos estão intimamente relacionados com a batimetria, como por exemplo, as correntes ou os depósitos sedimentares. No entanto, a batimetria varia ao longo do tempo, fazendo variar as condições oceânicas na coluna de água. Nesse sentido, o estudo da evolução da batimetria pode permitir inferir sobre alguns aspetos do passado. A reconstituição da batimetria do passado, ou paleobatimetria, constitui o principal objetivo deste trabalho. É importante salientar que neste estudo a paleobatimetria é considerada como sendo o resultado da variação do volume de água nos oceanos conjugada com a variação da topografia do fundo marinho.

Estas reconstruções paleobatimétricas podem ser uma mais valia para os modelos de circulação oceânica, permitindo um maior controlo nos processos físicos e, consequentemente, a obtenção de resultados mais precisos e/ou exatos. Embora seja difícil adicionar aos modelos oceanográficos, batimetrias ou topografias marinhas realistas, os modelos mais recentes, como MOM4 - (Griffies *et al* (2000) e (2008) e Calley *et al* (2014)), já os consideram, mesmo se de forma muito simplista.

Como se obtêm paleobatimetrias? Há várias formas de calcular paleobatimetrias, pois estas dependem de diversos fatores como: a idade que é pretendida, a área de estudo, a taxa de sedimentação, a variação eustática do nível do mar, entre outros. Houlborn *et al.*, (2011) reconstruíram a paleobatimetria, a paleoprodutividade e a paleocirculação do Oceano Atlântico para o Albiano (período do Cretácico Inferior  $\approx$  100 Ma). Nessa reconstrução, estes autores utilizaram modelos de idade que foram

desenvolvidos através de dados de foraminíferos bentónicos e a velocidade do movimento das placas tectónicas. Para reconstruções paleobatimétricas mais recentes, o movimento das placas é uma variável que pode ser considerada irrelevante, podendo mesmo ser desprezada. São exemplos deste tipo de reconstituição paleobatimétrica, os trabalhos de Boski *et al.*, (2006) e Sousa *et al.*, (2012), quando reconstruíram a paleobatimetria holocénica do rio Guadiana e do sistema lagunar da Ria Formosa, respetivamente. No presente estudo, serão apresentados os resultados preliminares da reconstrução da paleobatimetria de uma parte do Atlântico Norte durante o Último Máximo Glacial.

## 2. MÉTODOS

A primeira fase do presente trabalho consistiu na elaboração de uma metodologia adequada para a reconstituição paleobatimétrica, tendo-se para tal esquematizado o procedimento num modelo conceptual (MCRP) apresentado resumidamente na figura 1.

Deste procedimento podem-se realçar os seguintes passos:

### 2.1 – Aquisição dos dados da batimetria atual

Os dados da batimetria atual (figura 2) provêm de uma compilação de dados disponível no site do programa Mirone (Luis, 2007), e que se baseia no trabalho de Becker *et al.*, (2009).

### 2.2- Pesquisa e aquisição dos dados referentes a testemunhos sedimentares da área de estudo

Os dados de registos sedimentares marinhos foram adquiridos online através da consulta de duas bases de dados principais. A primeira é constituída pelos

dados utilizados e compilados num estudo de Calley *et al.*, (2014), dados que já incluem os modelos de idade para o Último Máximo Glacial (20ka). A segunda corresponde a uma compilação de um conjunto de trabalhos científicos disponibilizados em pangea.de. Os dados recolhidos dizem respeito à área de estudo delimitada pelas coordenadas: 26°N a 39°N e 16°O a 5°O.

2.3 – *Elaboração dos modelos de idade dos depósitos sedimentares*

Este item apenas foi realizado quando os dados recolhidos não apresentassem o modelo de idade para os últimos 20 000 anos. Neste caso, efetuou-se uma extrapolação com base num *script* desenvolvido em Matlab™ utilizando as funções de extrapolação *polyfit* e *polyval*, aplicadas às variáveis, profundidade de sedimento e idade.

2.4 – *Cálculo da paleobatimetria*

Nos pontos em que existia registo sedimentar, calculou-se a paleobatimetria considerando a variação eustática do nível do mar, a espessura de sedimento depositado nos últimos 20 000 anos e a batimetria atual (ver figura 1).

2.5 – *Interpolação espacial da paleobatimetria*

Para adensar a amostragem utilizou-se a interpolação espacial do inverso do quadrado da distância (*inverse distance weighting* - IDW). A estimação foi realizada considerando os 8 pontos mais próximos e com uma resolução da célula de 0.1.

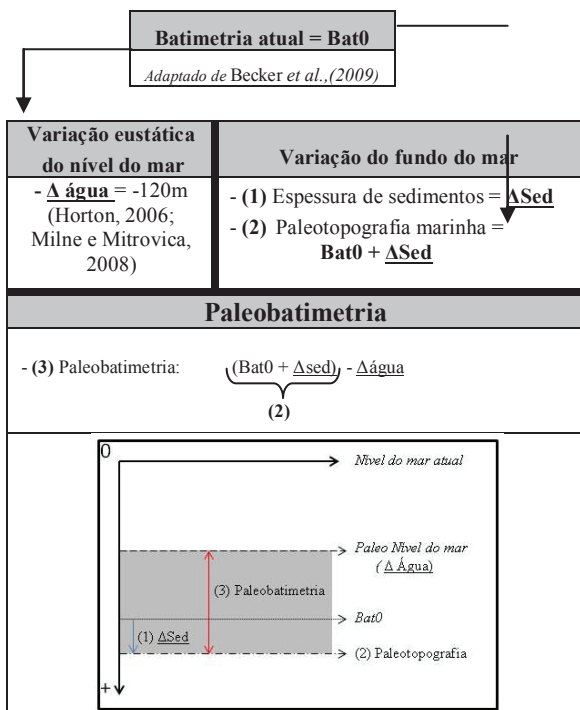


Fig. 1. Modelo conceptual de reconstituição paleobatimétrica (MCRP).

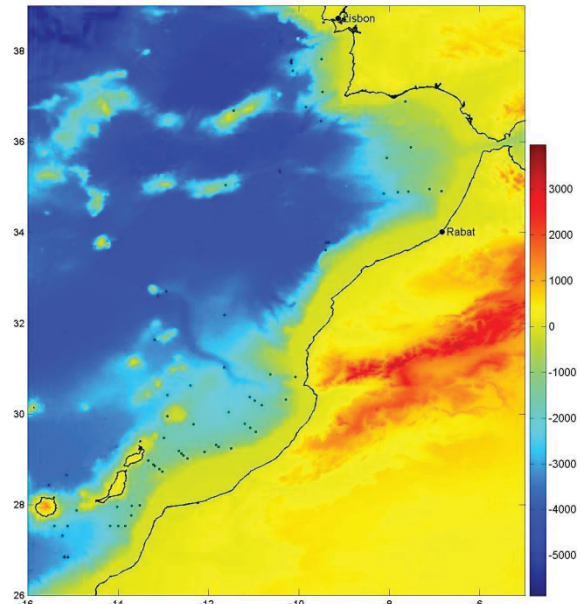


Fig. 2. Batimetria atual da área de estudo, e posicionamento dos registos sedimentares utilizados neste trabalho (pontos a preto).

Todo o trabalho, incluindo a integração dos dados e seu processamento, foi efetuado na plataforma ArcGIS™.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área de estudo considerada neste trabalho apresenta valores máximos de batimetria atual de cerca de 5000 metros (figura 1) podendo-se distinguir as quatro províncias geomorfológicas principais: plataforma continental, talude, vertente e planícies abissais (Harris *et al.*, 2014, figura 3).

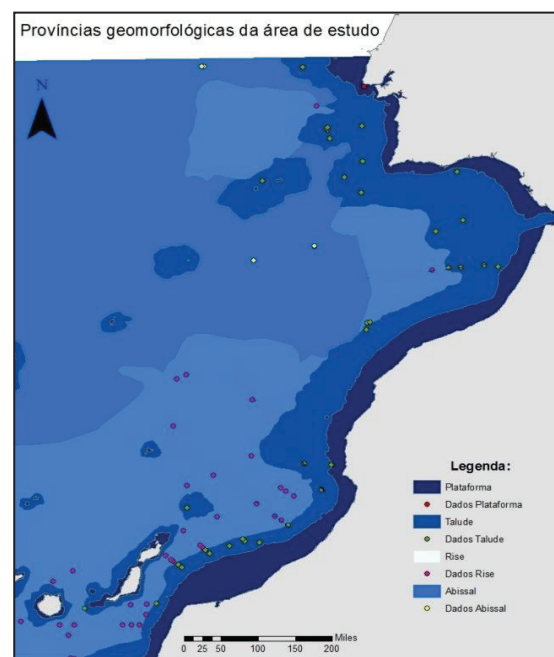


Fig. 3. Províncias geomorfológicas da área de estudo adaptado de Harris *et al.*, (2014).

Considerando que o presente trabalho incide sobre o Último Máximo Glacial, caracterizado por um nível

do mar 120 m abaixo do atual, é de notar, que a zona correspondente à plataforma continental passa a ser uma zona emersa no modelo de paleobatimetria dos 20 ka (figura 4).

De um ponto de vista geral, a reconstituição paleobatimétrica obtida para o Último Máximo Glacial (figura 4) é principalmente influenciada pela variação eustática do nível do mar. Isto deve-se ao facto da deposição sedimentar, registada nos testemunhos utilizados, não ultrapassar 20 m, tal como se pode verificar nos dois perfis apresentados na figura 5. Nestes perfis torna-se evidente que existe uma coincidência entre a batimetria atual e a paleotopografia. No entanto, verifica-se que podem existir alguns pontos onde a acumulação sedimentar foi suficientemente importante para diferenciar a paleotopografia da batimetria atual.

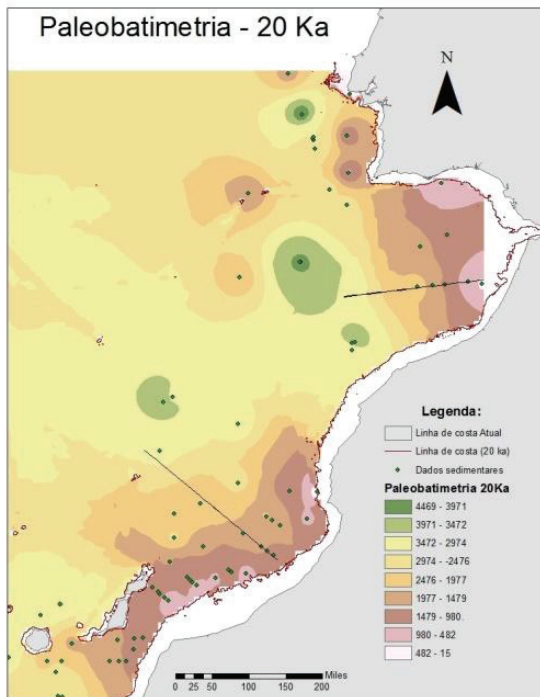


Fig. 4. Paleobatimetria para os 20 ka (UMG). Lat: 26°N a 39°N; Long: 16°O a 5°O.

O exemplo apresentado neste projeto mostra que a metodologia utilizada parece ser adequada para a reconstituição paleobatimétrica pretendida. No entanto, o período de tempo de 20 000 anos não parece ser o mais apropriado para a região em estudo, uma vez que as baixas taxas de sedimentação não irão influenciar a topografia do fundo. Por outro lado, e como seria de esperar, a paleobatimetria apresenta maior rigor e precisão nos locais em que há maior número de testemunhos sedimentares, comparativamente aos outros locais com menor número de testemunhos.

#### 4. CONCLUSÃO

No seguimento dos resultados preliminares apresentados, neste trabalho, pretende-se desenvolver uma ferramenta que permita criar uma

paleobatimetria com maior rigor e com maior precisão nos locais com menor número de pontos. A metodologia a utilizar deverá integrar, de alguma forma, as características da batimetria atual, principalmente nas províncias geomorfológicas que apresentam taxas de sedimentação baixas ou mesmo nulas, como é o caso das planícies abissais e dos montes submarinos, respetivamente.

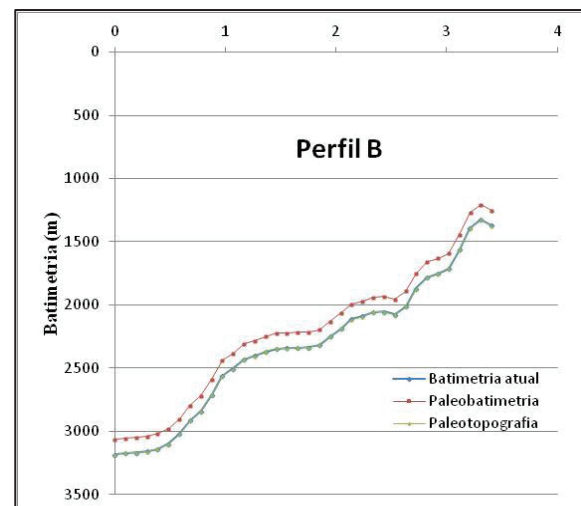
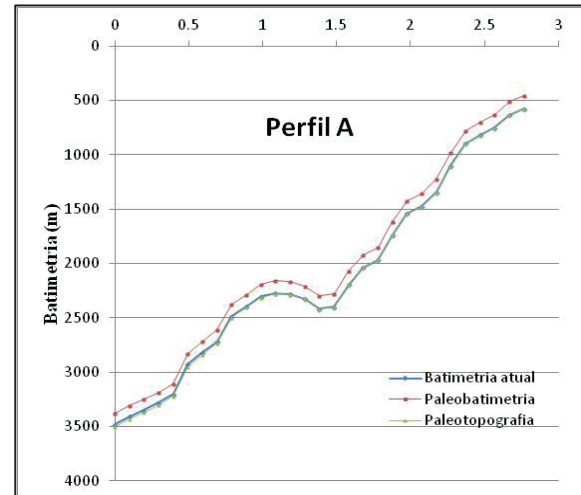


Fig. 5. Perfis em profundidade referentes à batimetria atual (linha azul), à paleobatimetria (linha vermelha) e à paleotopografia (linha a verde).

#### REFERÊNCIAS

- Becker, J. J., Sandwell, D. T., Smith, W. H. F., Braud, J., Binder, B., Depner, J., ... Weatherall, P. (2009). Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30\_PLUS. *Marine Geodesy*, 32(4), 355–371. doi:10.1080/01490410903297766
- Boski, T., Sousa, C., Loureiro, C., Limpo, S., Albardeiro, L., Camacho, S., Pereira, L., Amaral, A., Nieto, J., Rodriguez, J., Salas, L., Gonzalez-Villa, F., Pérez, J., Simonson, W., Lima, A. (2006) - *SIG Guadiana, "paleovale do Rio Guadiana"*. ISBN: 978-989-95638-1-2. Projecto MEGASIG, Programa INTERREG IIIA



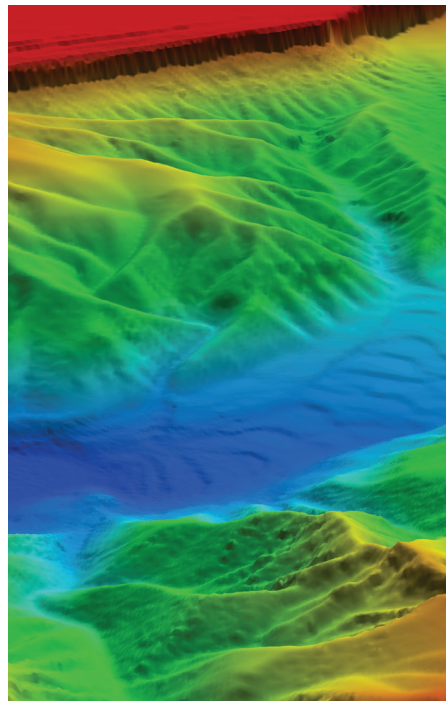
- Caley, T., Roche, D. M., Waelbroeck, C., & Michel, E. (2014). Constraining the Last Glacial Maximum climate by data-model (*i*LOVECLIM) comparison using oxygen stable isotopes. *Climate of the Past Discussions*, 10(1), 105–148. doi:10.5194/cpd-10-105-2014
- Griffies, S. M., Bonning, C., Bryan, F. O., Chassignet, E. P., Gerdes, R., Hasumi, H., Hirst, A., Treguier, A., e Webb, D. (2000) - Developments in ocean climate modelling. *Ocean Modelling* 2:123-192.
- Griffies, S. M., Harrison, M. J., Pacanowski, R. C. e Rosati, A. (2008) – The technical guide to MOM4. GFDL Ocean group technical report NO.5, NOAA/Geophysical fluid dynamics laboratory.
- Harris, P. T., Macmillan-lawler, M., Rupp, J., & Baker, E. K. (2014). Geomorphology of the oceans.
- Holbourn, A., Kuhnt, W. e Soeding, E., (2001) – Atlantic paleobathymetry, paleoproductivity and paleocirculation in the late Albian: the benthic foraminiferal record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 170(3-4), 171–196. doi:10.1016/S0031-0182(01)00223-1
- Horton, B.P., 2006. Late Quaternary Relative Sea-level Changes in Mid-latitudes. *Encycl. Quat. Sci.*
- Luis, J.F., 2007. Mirone: A multi-purpose tool for exploring grid data. *Comput. Geosci.* 33, 31–41. doi:10.1016/j.cageo.2006.05.005
- Milne, G. A., and J. Mitrovica. "Searching for eustasy in deglacial sea-level histories." *Quaternary Science Reviews* 27 (2008): 2292-2302.
- Sousa, C.; Boski, T.; Gomes, A.; Pereira, L.; Lampreia, J.; Oliveira, S. (2012). - *Pre-Holocene 3D surface modeling: Ria Formosa coastal lagoon reconstruction*. VII Symposium on the Atlantic Iberian Margin Proceedings, Lisbon, 2012

# TECNOLOGIAS DO MAR E ENGENHARIA OCEANOGRÁFICA

---

3.<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica  
Lisboa, 24, 25 e 26 de junho de 2014

---





# PLOCAN: A dedicated gliderport facility for the Macaronesia

C. Barrera<sup>(1)</sup>, T. Morales<sup>(1)</sup>, D. Vega<sup>(1)</sup>, J. Viera<sup>(1)</sup>, M.J. Rueda<sup>(1)</sup> and O. Llinas<sup>(1)</sup>

(1) PLOCAN. PO Box 35200. Telde. Las Palmas. Spain. [carlos.barrera@plocan.eu](mailto:carlos.barrera@plocan.eu)

**Abstract:** The regular use of these autonomous devices like AUVs and ASVs implies to dispose dedicated infrastructures and highly qualified technical staffs that enable such efficiency and sustainability of use. Within this context, the Oceanic Platform of the Canary Islands (PLOCAN) represents a prime example of faithful glider infrastructure (gliderport), providing on one side the spaces, equipment, technical staff and easily accessible operational scenarios where to run regularly and test in a cost-effective way new technological developments (test site). In parallel, an increasingly recognized International Glider School with the support and involvement by leading manufacturers and company providers, where to train upcoming glider pilots and technicians under common standards and procedures, represents a key part of the PLOCAN glider program.

**Key words:** gliderport, ocean, monitoring, ASV

## 1. INTRODUCTION

In-situ ocean monitoring platforms (OOPs) technology provides nowadays a large number of options according to end-users needs and operational or budgetary circumstances. In general terms, OOPs are workspaces to accommodate staff (if manned) and/or dedicated payload equipment (manned and unmanned) at the study site and serve as field laboratories. The data collected by OOPs give to end-users the requested information (in many cases as dedicated products) in order to cover specific needs from a wide group of different socio-economic sectors, not only science-research, linked to marine and maritime fields (navigation, fisheries, aquaculture, leisure, tourism, safety and security, search and rescue, archeology, etc.) (Griffiths, 2012).

Despite ocean monitoring is still difficult and costly, current technological advances in key science disciplines (robotics, IT, science materials, electronics, etc.) bring in a permanent improvement way a huge range of options in terms of type, shape, depth capabilities, area of work, payload, telemetry, etc. on how to configure and operate an in-situ OOP (manned or unmanned, moored or drifting, remote or ship-based) in both costal or off-shore areas.

The availability of such highly specialized observing platforms, allows increase in a positive way data quantity and quality, in temporary and special scales not available previously. However, for a safe, efficient and cost-effective management of these OOPs, it's more than necessary, two main additional components: dedicated infrastructures and highly trained staff for each case and situation.

## 2. PLOCAN AS GLIDERPORT FACILITY

The Oceanic Platform of the Canary Islands (PLOCAN) is a public consortium facility located in Gran Canaria (Las Palmas, Spain) engaged to promote long-term, deep-ocean and offshore science and technology activities in the marine and maritime

sectors, through a cost-effective and sustainable multipurpose services combination as observatory, test site, underwater vehicles base (VIMAS), highly specialized training and innovation hub (Delory, 2011).

PLOCAN staff operates a wide range of underwater vehicles, with special focus on gliders and ASV, since 2007 both by its own as well as in-partnership with flag-ship national and international technological base institutions and companies within the framework of national and EU projects, technological development cooperation and specific “on-demand” services.



Fig. 1 The PLOCAN infrastructure concept (art layout).

More in detail, PLOCAN as a base for underwater vehicles, has and provides a cutting-edge dedicated facilities as permanent operational infrastructure able to support a fleet of underwater vehicles (gliders, ROV and AUV) and multidisciplinary ocean observing systems; easy, quick and reliable open-ocean access (1000 m. in less than 5 Nm off); technical and logistic support for trials and operations in tank, confined and open waters; multidisciplinary and sectorial technology



partnership international cooperation with companies and institutions; labs, workshops, boats and control room for test, trials and repairs; highly specialized training program; location well connected by air and sea; etc. (Barrera, 2013)



Fig. 2. PLOCAN glider lab



Fig. 3. Harbor facilities and boats for glider operations.

### 2.1 PLOCAN Glider School.

The Glider School is a PLOCAN initiative framed within the current demand of new technical profiles on underwater robotics, and more specifically, ocean gliders. The main goal of the school is to provide the right technical and learning framework to potential end-users of these specific OOPs from different socio-economic sectors (private and public) related to marine and maritime fields, in order to bring a first theoretical and practical “touchdown” of existing glider technologies and rest of subsystem components payload.

The school has the direct support from main glider and marine sensors manufacturers, and international experts from flag-ship institutions, showing to attendees the glider capabilities and applications, derived from their own field experiences.

Didactical content refers to technology basics, mission setup, piloting, sea operations, maintenance and vehicle configuration according end-user needs.

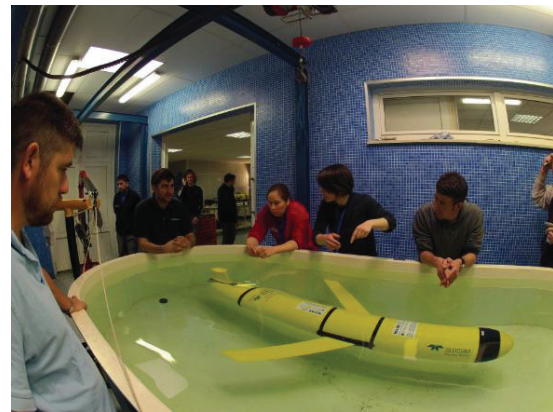


Fig.4. Glider ballasting by students.

## 3. OCEAN GLIDER TECHNOLOGY

From a purist point of view, ocean gliders have been (and still for some people) initially considered only underwater vehicles, leaving ASVs (autonomous surface vehicles) out of this designation. However, ASV are increasingly considered “gliders” as well due to the key contribution they play in different monitoring applications (Alvarez, 2012; )

Underwater gliders have enhanced capabilities, when compared with other drifting platforms like profiling floats, providing some level of maneuverability (piloting) and hence position control (once in surface). Gliders are buoyancy driven autonomous underwater vehicles able to perform saw-tooth trajectories from the surface to depths of 1000 m. (deeper version are on its way), along reprogrammable routes using two-way communication via satellite (Davis, 2002; Osse, 2007; Testor, 2009; Brito, 2010; Manley, 2010).

They achieve forward speeds of up to 40 km/day thanks to wings and rudders, and can be operated for a few months before they have to be recovered. Gliders can record physical and biogeochemical parameters during the dives. Even passive and active acoustic instruments have successfully been used.

At each surfacing, they connect to a computer on land via the bidirectional Iridium satellite phone system in order to send the data they collected and receive new commands from the operator in land, if necessary (at a rate of about 30-60Kbytes in 5 minutes every ~4-5 hours).

Gliders are considered to be less susceptible to damage from fish trawling than moorings and hourly/daily communication by satellite means that if a vehicle is lost or damaged the loss of data can be minimized. Replacing a glider is relatively easy and cheap compared to other OOPs operations at sea in this sense.

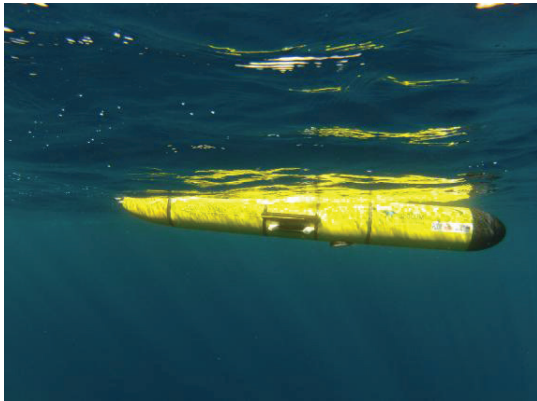


Fig 5. Underwater glider starting a downcast.

ASV or surface ocean gliders are a particular group of autonomous marine vehicles powered by renewable marine energies (wind and waves), able to carry on different payload sensor configuration for continuous and long-term and real-time monitoring of meteorological and oceanographic seawater parameters.

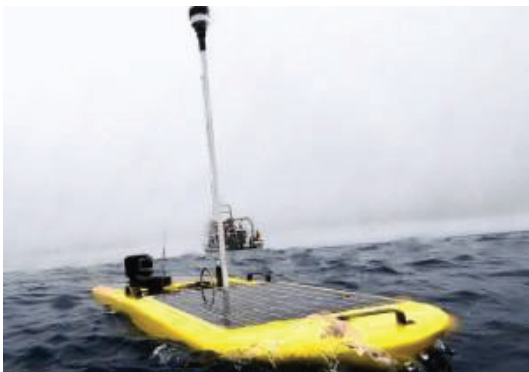


Fig. 6. ASV or surface ocean glider.

Currently, both groups of vehicles, profilers and surface, are considered by the broad user community as marine gliders in general terms, due to its high sinergetic level.

#### 4. THE GROOM PROJECT

Compared with other OOPs, ocean gliders should be considered new generation platforms. However, based on their observing capabilities, the international user community, and more specifically users around Europe, consider important and necessary to organize in some way a dedicated research infrastructure in order to operate and manage efficiently and sustainably the large European glider fleet.

As preliminary step before to create the desired ERIC (European Research Infrastructure Consortium), the EU Commission funded in 2010 within the framework of FP-7 programme, a four-year project under the name of GROOM (Gliders for Research, Ocean Observation and Management) with a consortium of 12 partners form 8 countries

and led by UPMC (University of Pierre et Marie Curie).



Fig. 7. GROOM project leaflet, showing number and distribution of potential European gliderport infrastructures.

The GROOM goal is to design a new European Research Infrastructure that uses underwater gliders for collecting oceanographic data. This new infrastructure shall be beneficial for a large number of marine activities and societal applications, which can be related to climate change, marine ecosystems, resources, or security and which rely on academic oceanographic research and/or operational oceanography systems. GROOM will define the scientific, technological, and legal framework of this European glider capacity as key project for building the required observatory network that would allow the Marine Strategy Framework Directive to be implemented. GROOM will develop in line with other European and international initiative supporting marine in-situ observations, like in particular Euro-Argo, JERICO, and GOOS.

#### 5. CONCLUSIONS

The technology offers nowadays a broad number of platforms, sensors and systems for in-situ ocean observation. To handle all these new capabilities in a safe, efficient and sustainable way requires dedicated infrastructures and specialized technical staff. PLOCAN is, among other, a dedicated facility acting as base for underwater vehicles and more specifically for ocean gliders. PLOCAN gliderport has and offers a fleet of gliders, dedicated logistics and skilled staff, able to support end-users needs regarding ocean monitoring. PLOCAN contributes through FP-7 GROOM project with the design of a European Research Infrastructure addressed to coordinate a gliderport network for a sustainable and efficient use of the European glider fleet in the near future.

#### Acknowledgements

The authors truly acknowledge to the Ministry of Economy and Competitiveness by the Spanish National Government and the Canarian Regional

Government for funding the PLOCAN infrastructure. A special mention as well to the EU Commission for funding some projects within the FP-7 Framework related to ocean gliders, where PLOCAN is acting as partner. Finally, a special mention to all companies and institutions that, despite difficulties for put into operation this huge and pioneer technological infrastructure, have been and still providing support for make it a reality.

#### REFERENCES

- Alvarez, A. and Moure, B., (2012). Optimum sampling designs for a glider-mooring observing network. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 29 (4), 601-612.
- Barrera, C. et al. (2013). Highlights from latest sea-operations in the Macaronesia region with unmanned autonomous marine gliding vehicles. In *Proceedings of the OCEANS'13 IEEE/MTS Conference*. Bergen, Norway. ISBN 978-1-4799-0000-8, pp. 1-7.
- Brito, M.P., et al., (2010). Risk Analysis for Autonomous Underwater Vehicle Operations in Extreme Environments. *Risk Analysis*, 30(12): 1771–1788. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2010.01476.x
- Davis, R., et al. (2002). Autonomous Buoyancy-driven underwater gliders. In *"The Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles"*, G. Griffiths, ed., Taylor and Francis, London.
- Delory, E. et al. (2011). The PLOCAN Observatory: a multidisciplinary multi-platform observing system for the Central-Eastern Atlantic Ocean. In *Proceedings of OCEANS'11 IEEE/MTS Conference*. Santander, Spain.
- Griffiths, G., (2010). Ocean Exploration with Autonomous Underwater Vehicles. *Journal of Ocean Technology*, 5(3): 1-8
- Manley, J. and Willcox, S., (2010). The wave glider: A persistent platform for ocean science. In *Proceedings of the OCEANS'10-IEEE/MTS Conference*. pp. 1-5.
- Osse T.J. and Eriksen C., (2007). The Deepglider: A Full Ocean Depth Glider for Oceanographic Research. In *Proceedings of the OCEANS'07 – IEEE/MTS Conference*. Vancouver, Canada.
- Testor, P., et al., (2009). Gliders as a component of future observing systems. In *Proceedings of the "OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society" Conference* (Vol. 2), Venice, Italy. Hall, J., Harrison D.E. and Stammer, D., Eds., ESA Publication WPP-306.



# Cooperative Motion Control of Autonomous Marine Vehicles

A. M. Pascoal

Instituto de Sistemas e Robótica (ISR), Instituto Superior Técnico (IST), Univ. Lisboa

Torre Norte, Av. Rovisco Pais, 1 1049-001 Lisbon, Portugal

antonio@isr.ist.utl.pt

**Resumo:** Esta apresentação foca o tema do Controlo Cooperativo de Veículos Marinhos e aborda aspectos teóricos e práticos deste problema, com ênfase no projecto e implementação de sistemas e a realização de testes de mar. Dão-se exemplos de cenários científicos e comerciais que exigem a utilização de veículos robóticos de superfície e submarinos a actuar em cooperação. Sob o ponto de vista teórico, dá-se ênfase ao problema do controlo cooperativo de grupos de veículos utilizando sensores acústicos capazes de medir as distâncias entre alguns dos elementos do grupo. Como aplicação digna de revelo menciona-se o mapeamento de habitats marinhos em ambientes complexos tri-dimensionais. A eficácia dos algoritmos desenvolvidos para controlo cooperativo é ilustrada através de resultados obtidos em testes com veículos heterogéneos no decurso do projecto MORPH da CE (<http://morph-project.eu/>) em que participa o ISR/IST.

**Palavras-chave:** Robôs marinhos, Múltiplos veículos, Controlo cooperativo

## ABSTRACT

This presentation addresses the general topic of Cooperative Motion Control of Marine Vehicles, both from a theoretical and a practical standpoint. The presentation is rooted in practical developments and experiments at sea. Examples of scientific mission scenarios with autonomous surface vehicles (ASVs) and autonomous underwater vehicles (AUVs), acting alone or in cooperation, set the stage for the main contents of the presentation. From a theoretical standpoint, special attention is given to the problem of cooperative motion control of groups of autonomous vehicles using acoustic ranging devices. The application envisioned is marine habitat mapping in complex underwater terrain, including vertical cliffs. The efficacy of the systems developed has been shown during real tests at sea. The results are illustrated with results from actual field tests with multiple marine robots. The core material presented has been obtained in the scope of the MORPH (<http://morph-project.eu/>) project of the EC in which ISR/IST participates.

## 1. EXTENDED SUMMARY

The work presented is strongly motivated by the widespread interest in the development of advanced robotic marine systems to drastically improve the methods available for exploring and exploiting the ocean and its frontiers. We are at the dawn of an era where groups of marine robots acting in cooperation will be able to acquire relevant scientific data on an unprecedented scale. Some of the robots will be fully autonomous and will therefore be able to roam

the oceans freely (e.g., autonomous underwater vehicles (AUVs), autonomous surface vehicles (ASVs), and underwater gliders). The use of such vehicles is also expected to have far reaching implications in other scientific and industrial applications that include, but are not limited to fisheries, ocean energy, underwater archaeology, offshore oil exploration, transportation, and security.

The development of the first civilian autonomous marine robots in Europe received great impetus under the Marine Science and Technology Programmes (MAST) of the CEC. Namely, the MAST III programme (1994-1998) that aimed to “develop the scientific and technological base for the sustainable exploitation of marine systems, as well as determining their precise role in global change”. The MAST programme was the precursor of many of the ensuing R&D efforts both in academia and the industry, and paved the way for the emergence of a reduced group of institutions of excellence in marine robotics. Solid ties were steadily forged between academia, research institutes, and the industry, leading to an increasing number of R&D programs targeting the development of increasingly sophisticated marine robots. Over a short time window of two decades, autonomous marine robots have ceased to be perceived as “a simple display of engineering proficiency” and have steadily reached the stage where they are being routinely used by world class marine research institutions in Europe in a large number of scientific and commercial mission scenarios (e.g., IFREMER (FR), NOC (UK), and



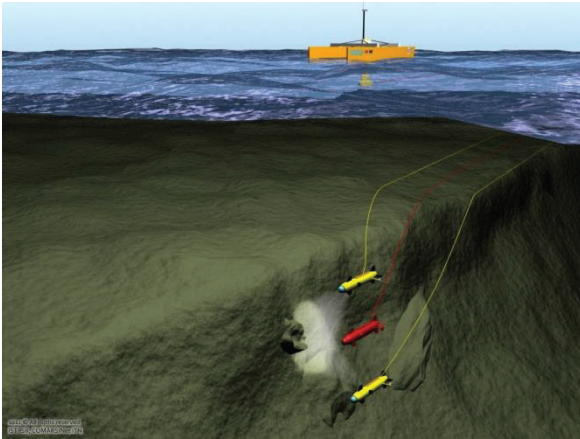


Fig. 1. Marine Habitat Mapping: a multiple vehicle cooperative mission (EC MORPH project)

MARUM (DE)). At the same time, a reduced number of companies also in Europe have crossed the diving line between prototypes and operational vehicles and have successfully entered the autonomous robot market with considerable success (e.g., ATLAS (DE), MARITIME ROBOTICS (NO), KONGSBERG (NO), and TELEDYNE/GAVIA (IS)).

It is by now widely accepted that the ever increasing sophistication of autonomous marine robots and systems is steadily paving the way for the execution of complex missions at sea without direct supervision of human operators. A key enabling elements for the execution of such missions is the availability of advanced systems for navigation, motion control, and mission control of autonomous marine robots. Noteworthy is the fact that **current research goes well beyond single vehicle control**. In fact, there has been widespread interest in the use of **fleets of autonomous robots cooperating to achieve a desired goal**. A particular important scenario that motivates the cooperation of multiple autonomous vehicles and poses great challenges to systems engineers, both from a theoretical and practical standpoint, is automatic ocean exploration and monitoring for scientific and commercial purposes. In this scenario, one can immediately identify two main disadvantages of using a single, heavily equipped vehicle: i) lack of robustness against system failures, and ii) inefficiency due to the fact that a single vehicle may need to wander significantly to collect data over a large spatial domain, thus making it impossible to sample the environment at the appropriate temporal and spatial scales. A **cooperative group of vehicles connected via a mobile communications network relying heavily on the acoustic underwater channel** has the potential to overcome these limitations. The group can also reconfigure itself in response to environmental parameters in order to improve mission performance and optimize the strategy for detection and measurement of vector/scalar fields and features of particular interest (adaptive ocean



Fig. 2 The MEDUSA-class of autonomous marine vehicles (surface and underwater) – ISR/IST

sampling). Furthermore, in a cooperative mission scenario each of the vehicles is only required to carry a reduced number of resources (as part of the general pool of complementary resources of the ensemble; e.g. scientific sensor suites and dedicated acoustic devices for seabed mapping) and therefore each vehicle is less complex, thus increasing its reliability and that of the ensemble. These considerations justify the **need for the development of advanced systems to support the cooperative operation of groups of marine robots at sea**. See for example Aguiar, A. and Pascoal, 2012, Xargay et al., 2012, Ghabcheloo et. al., 2009, and the references therein for an introduction to this circle of ideas including the underlying theoretical aspects. As an illustrative example, Figure 1 depicts a scientific mission scenario that is at the root of the R&D work that is being undertaken in the scope of the EC MORPH project, whereby a group of underwater vehicles equipped with different, yet complementary sensor suites, cooperate to map a complex marine environment (Kalwa et al., 2013). In this set-up, the underwater vehicles may be able to communicate with an autonomous surface vehicle and receive navigation aid from it.

Motivated by the above considerations, this presentation focuses on the problem of making a group of surface and underwater vehicles converge to and hold a desired spatial geometric formation while undergoing translational and rotational motions as a whole. In particular, we address the situation where the underwater vehicles track the motion of two leader vehicles at the surface using acoustic ranging and communication devices, see (Soares et. al. 2013; Soares et. al., 2012). The results obtained are illustrated with results from actual field tests with multiple marine robots that include the MEDUSA-class of autonomous marine vehicles designed and built at ISR/IST (see Fig. 2 and Fig. 3), and the SPARUS/GIRONA 500 and Vortex vehicles that are property of the Univ. Girona, Spain and IFREMER, France, respectively.



Fig. 3 A set of 3 MEDUSA vehicles performing a cooperative mission (Sesimbra, Portugal)

### Acknowledgements

This work was supported by project MORPH [EU FP7 ICT 288704] and the FCT [PEst-OE / EEI / LA0009 / 2013]. The presentation is truly a brief summary of the work of many. I would like to thank the members of the MORPH project for the excellent team spirit, and in special my colleagues L. Arranz, B. Bayat, J. Botelho, P. Góis, A. Hausler, P. Maurya, F. Rego, J. Ribeiro, M. Ribeiro, M. Rufino, L. Sebastião, H. Silva, and J. Soares at IST/ISR, Lisbon, as well as A. Aguiar at FEUP, Porto for the exciting R&D environment that they have helped create in such a wonderful cooperative manner, the almost daily stimulating discussions, and the strong commitment to go from the laboratory to the real world.

### BIBLIOGRAPHY

- Soares, J., Aguiar, A., Pascoal, A., and Martinoli, A. (2013). Joint ASV/AUV Range-Based Formation Control: Theory and Experimental Results. *Proc. 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Karlsruhe, Germany
- Kalwa, J., Carreiro-Silva, M., Tempera, F., Fontes, J., Santos, R., Fabri, M., Brignone, L., Ridao, P., Birk, A., Glotzbach, T., Caccia, M., Alves, J., and Pascoal, A. (2013). The MORPH Concept and Its Application in Marine Research. *Proc. OCEANS 2013, Bergen, Norway, 10-14 June*.
- Soares, J., Aguiar, A., Pascoal, A., and Gallieri, M. (2012). Triangular Formation Control using Range Measurements : an Application to Marine Robotic Vehicles. *Proc. IFAC Workshop on Navigation, Guidance and Control of Underwater Vehicles (NGCUV2012)*, Porto, Portugal
- Xargay, E., Dobrokhodov, V., Kaminer, I., Pascoal, A., Hovakimyan, N., and Cao, C.(2012). Time-Critical Cooperative Control of Multiple Autonomous Vehicles: Robust Decentralized Strategies for Path-Following Control and Time-Coordination over Dynamic Communications Networks. *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 32 No.5, October 2012, pp. 49-73.
- Aguiar, A. and Pascoal, A. (2012). Cooperative Control of Multiple Autonomous Marine Vehicles: Theoretical Foundations and Practical Issues. *In Further Advances in Unmanned Vehicle Systems, IET, Editors Geoff Roberts and Robert Sutton*.
- Ghabcheloo, R., Aguiar, A., Pascoal, A., Silvestre, C., Kaminer, I., and Hespanha, A.(2009). Coordinated path-following in the presence of communication losses and time delays. *SIAM Journal on Control and Optimization*, Vol. 48, No. 1, pp. 234-265, 2009.



# Busca e inspeção de objetos no fundo do mar – estudo de caso no parque Ocean Revival

C. Fradique<sup>(1)</sup>, S. Silva<sup>(1)</sup>, F. Ferreira<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico, catarina.fradique@hidrografico.pt.

**Resumo:** O Instituto Hidrográfico dispõe de diversas ferramentas e meios técnicos para efetuar a caracterização remota do fundo marinho, salientando-se a capacidade de deteção e localização de objetos afundados, utilizando técnicas na área da magnetometria, sonar lateral e multifeixe, que, combinados com os veículos operados remotamente (ROV), permitem desenvolver produtos operacionais de apoio à atividade militar, particularmente atrativos para fins comerciais/prestações de serviço. O presente trabalho descreve o uso de algumas destas ferramentas e técnicas aplicadas na área do parque de mergulho recreativo Ocean Revival, em Portimão, onde estão afundados quatro ex-NRP. A cartografia de fundo, efetuada a partir dos registos de sonar lateral, magnetometria e as imagens vídeo dos navios obtidas com ROV, permitiram caracterizar e posicionar com rigor, não só os navios aí afundados como também outros objetos. Os produtos obtidos, ilustram a importância de manter atualizada a informação sobre a disposição e o estado de conservação dos navios naquela área.

**Palavras-chave:** sonar lateral, magnetómetro, ROV, deteção, destroços.

## 1. INTRODUÇÃO

No âmbito do plano de treinos interno da Divisão de Geologia Marinha, que permite manter a capacidade técnica e operacional nos principais sistemas utilizados nas operações de busca e inspeção de objetos, foi realizado um exercício em novembro de 2013 (Fradique, 2014), utilizando sistemas de sonar de varredura lateral, magnetometria, posicionamento acústico e ROV (*Remotely Operated Vehicle*).

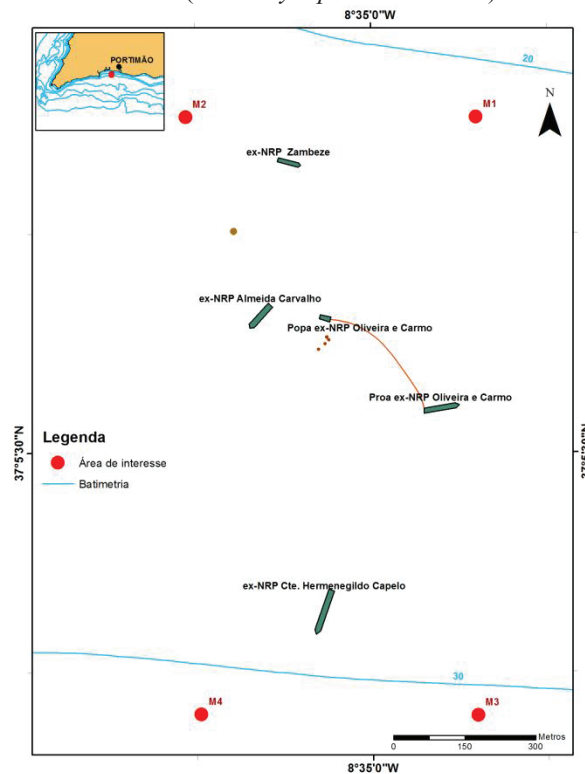


Fig. 1. Área de interesse do parque Ocean Revival e localização e orientação geral dos navios afundados.

O local escolhido para a realização deste exercício foi o parque de mergulho recreativo Ocean Revival, em Portimão onde foram afundados, entre as batimétricas dos 20 m e 30 m, quatro navios, o ex-NRP “Zambeze”, ex-NRP “Cte. Hermenegildo Capelo”, ex-NRP “Oliveira e Carmo” e ex-NRP “Almeida Carvalho” (Figura 1). Estes navios serviram como alvos no treino de operações de busca e inspeção de navios naufragados, sendo possível fazer uma caracterização detalhada de cada navio recorrendo exclusivamente aos registos acústicos, magnéticos e óticos obtidos pelos sistemas utilizados. Para além dos navios foram também descritos e posicionados outros objetos existentes na área. Os produtos obtidos, descritos nesta comunicação, para além de caracterizar este parque de mergulho recreativo e servir de referência a inspeções futuras, ilustram a importância de manter atualizada a informação sobre a disposição e o estado de conservação dos navios naquela área.

## 2. SISTEMAS UTILIZADOS

### 2.1. Sonar de varredura lateral

Os sonares de varredura lateral permitem obter imagens do fundo marinho, podendo mesmo detetar objetos junto ao fundo ou na coluna de água. Neste trabalho foram utilizados dois sonares de varredura lateral, o Klein 3900 e Klein 5000.

O sonar de varredura lateral Klein 3900, é um sistema de sonar digital (feixe simples) de alta resolução. Este sistema pode ser operado a 445 kHz (125 m máx. de alcance lateral), ou a 900 kHz (40 m máx. de alcance lateral). O sonar de varredura lateral Klein 5000 é um sistema de sonar de múltiplos feixes (5 de cada bordo) a 455kHz, com focagem dinâmica.



O reboque do sonar Klein 3900 a partir de um bote, permitiu realizar uma cobertura da área de interesse, para determinação das posições dos navios afundados e de outros objetos no fundo, e uma caracterização detalhada de cada navio. A cobertura total da área foi garantida através da realização de 4 fiadas com orientação N-S, alcance de 75 m a 445 kHz sem cobertura de nadir. Para o levantamento de detalhe foram adquiridas, sobre cada navio, uma média de 4 fiadas a 445 kHz e alcance lateral de 75 m, orientadas perpendicular e transversalmente a meio navio.

Utilizando o Klein 3900, rebocado com cabo leve a partir do NRP “Andrómeda”, refez-se a cobertura da área de interesse, garantindo cobertura de nadir, em ambas as frequências, 445kHz e 900kHz.

O sonar Klein 5000 foi rebocado a partir do NRP “Andrómeda” utilizando um guincho eletromecânico e o pórtico do navio, permitindo, desta forma, o seu afastamento dos hélices e da esteira do navio, e o melhor controlo da sua distância ao fundo. Com este sistema foram realizadas 8 fiadas N-S com alcance lateral de 75 m a 455 kHz garantindo cobertura de nadir em toda a área de interesse (Figura 2).

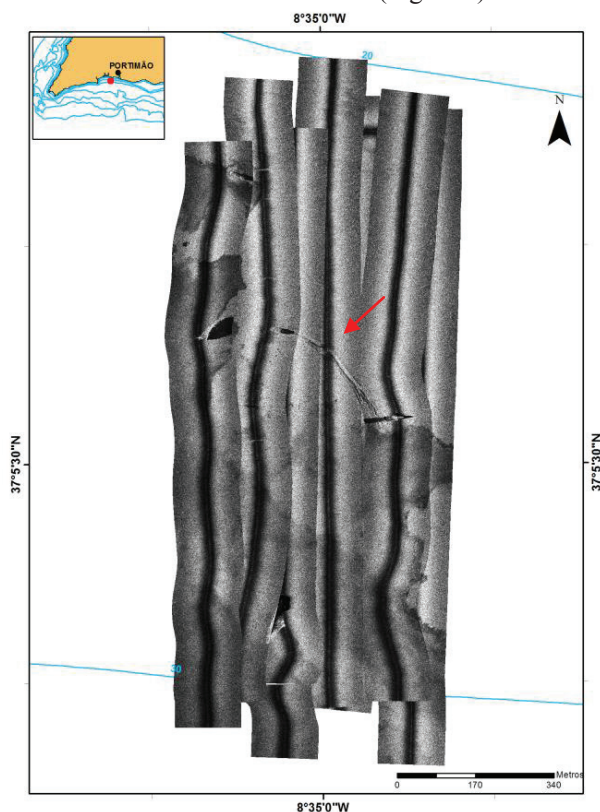


Fig. 2. Mosaico de sonar lateral obtido com Klein 5000 a 455kHz após tratamento dos dados. A seta a vermelho aponta para um rasto de 200 m que separa um bloco de cerca de 20 m (a NW) da popa do ex-NRP “Oliveira e Carmo” (a SE).

O posicionamento dos dados de sonar foi obtido através do conhecimento da posição da plataforma de reboque, utilizando um sistema GPS com correção diferencial SBAS, do valor de comprimento de cabo de reboque e do valor do sensor de pressão dos sonares.

## 2.2. Sistema de magnetometria

Este sistema é composto por dois magnetómetros de precessão protónica e de efeito *Overhauser*, Seaspy e Sentinel. O Seaspy é um magnetómetro rebocável que permite obter o valor de campo magnético local e, conseqüentemente, detetar qualquer objeto ou estrutura, à superfície ou enterrado no sedimento, desde que tenha assinatura magnética. O Sentinel é um magnetómetro preparado para ser montado em estação fixa, para registo da variação temporal do campo magnético terrestre (CMT) e posterior correção dos dados adquiridos com o Seaspy.

Para a obtenção de uma carta de anomalias magnéticas da área de interesse, foram realizadas 6 fiadas, com uma orientação geral N-S, cobrindo toda a área, com o magnetómetro Seaspy rebocado a 200 m a ré do NRP Andrómeda.

Durante os levantamentos com o magnetómetro Seaspy, o magnetómetro estação Sentinel foi montado em terra, de forma a registar a variação temporal do CMT. A taxa de amostragem utilizada para ambos os magnetómetros foi de 2 Hz e o posicionamento dos dados do SeaSpy foi obtido através do conhecimento da posição do navio, utilizando um sistema GPS com correção diferencial SBAS, do valor de comprimento de cabo de reboque e do valor do sensor de pressão do magnetómetro.

## 2.3. Veículo operado remotamente (ROV)

O ROV Navajo é um veículo subaquático, controlado remotamente, que permite detetar e identificar visualmente, ao longo da coluna de água e no fundo do mar, objetos e estruturas submarinas (por exemplo: destroços e embarcações afundadas; aviões acidentados; emissários; cabos; e pilares de pontes). É um veículo muito versátil, podendo ser utilizado tanto no *offshore* como no *inshore*. O seu peso e tamanho permitem um fácil transporte e uma operação a partir de qualquer tipo de plataforma, sendo ainda uma base estável para a colocação de sensores auxiliares de pequenas dimensões, tais como sonar, câmaras de vídeo e manipuladores. Para além dos sensores padrão (altímetro, câmara, luzes, etc.) o ROV possui um sonar de varredura circular de dupla frequência, entre 600 kHz e 300 kHz, utilizado como auxiliar à navegação do veículo (em particular junto ao fundo). Possui também um *imaging sonar*, ou câmara acústica, de 900 kHz que permite obter, em tempo real, imagens dinâmicas de alta resolução de zonas onde a visibilidade na coluna de água é praticamente nula.

No parque de mergulho, foi realizado um mergulho diário em cada navio, tendo sido inspeccionados os quatro navios. Em cada mergulho foi possível obter imagens vídeo, de *imaging sonar* e de sonar circular de cada navio.

O posicionamento em tempo real deste veículo, e respetivamente dos seus dados, foi obtido através de um posicionamento acústico, GAPS. Este sistema é

constituído por um *transponder* montado no veículo, que comunica com um conjunto de 4 hidrofones e 1 transdutor, montados numa garrafa colocada à a borda da plataforma de apoio, o navio.

### 3. TRATAMENTO DE DADOS E RESULTADOS

#### 3.1. Retrodispersão acústica

O processamento do registo de sonar lateral, realizado com o *software* IXSEA DELPH SONAR INTERPRETATION, consistiu na aplicação das correções geométricas e radiométricas aplicáveis a este tipo de sistema (ganhos variáveis no tempo, correção de velocidade, remoção da coluna de água, correção da obliquidade considerando o fundo como sendo plano, correção do *offset* entre os transdutores e posicionamento dos dados). Para cada levantamento, foi construído um mosaico da imagem acústica do fundo, corrigida e georreferenciada.

Nos mosaicos de sonar da área de interesse, obtidos com Klein 5000 e Klein 3900, é possível localizar e identificar os quatro navios afundados, assim como cabos, poitas e ferros utilizados para orientar e manter os navios na posição correta durante a manobra de afundamento.

Todas as imagens, gerais ou de detalhe, obtidas sobre os navios, são de grande qualidade e permitem identificar as estruturas exteriores de cada navio, dada a sua nitidez (Figura 3, 4 e 5). A imagem acústica do ex-NRP “Almeida Carvalho” é a menos nítida, facto que pode ser atribuído ao desenho e/ou tipo de material que recobre a chapa metálica (Figura 3).

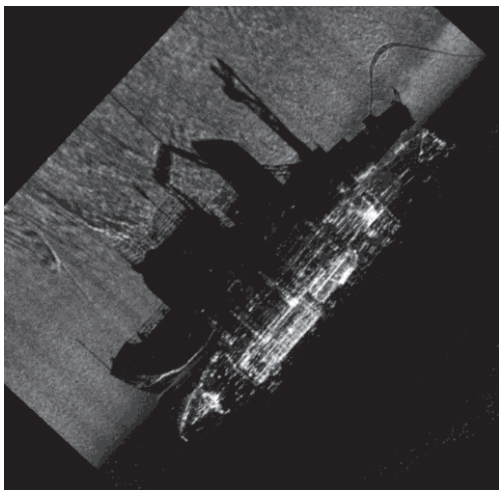


Fig. 3. Ex-NRP Almeida Carvalho. Registo obtido com Klein 3900 a 445kHz (Imagem orientada com o norte para cima).

Da análise dos dados obtidos nos levantamentos de detalhe foi possível extrair a posição e orientação correta de cada navio assim como identificar detalhes estruturais onde seria pertinente realizar uma inspeção visual.

Foi detetado e posicionado um bloco de cerca de 20 m da popa do ex-NRP “Oliveira e Carmo”, separado

do resto do navio, e arrastado 200m para NW da sua posição inicial. São visíveis as marcas de arrasto da estrutura no mosaico de sonar lateral da área de interesse (Figura 2).

Foram também cartografadas algumas poitas e uma estrutura que aparenta ser um dos recifes artificiais colocados nesta zona em 2000, pelo antigo IPIMAR (<http://www.subnauta.pt/viewPage.php?idPage=7&arent=1>, consultado em 7-01-2014).

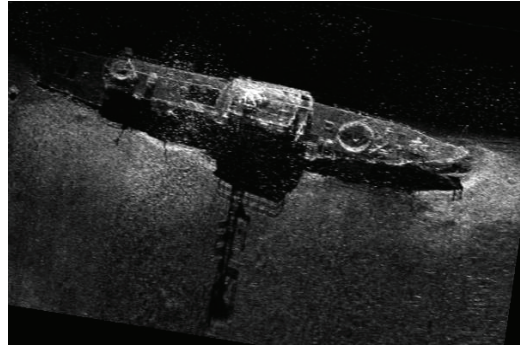


Fig. 4. Ex-NRP Zambeze. Registo obtido com Klein 3900 a 445kHz. É possível ver com clareza o reduto da peça e a sombra do mastro. (Imagem orientada com o norte para cima).

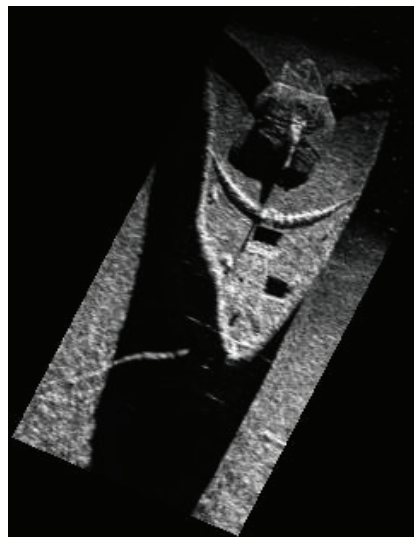


Fig. 5. Detalhe da proa do Ex-NRP Hermenegildo Capelo, onde se pode ver a peça de vante. Registo obtido com Klein 3900 a 445kHz (Imagem orientada com o norte para cima).

O sonar Klein 5000 permitiu obter sonografias de elevada resolução da área de interesse e pelas suas características torna-se um sonar que permite um levantamento mais eficiente, bom compromisso entre a velocidade e a cobertura obtida. No entanto, para a utilização deste sonar é necessária uma plataforma que permita a colocação de um guincho eletromecânico para o rebocar. O Klein 3900 é um sonar mais versátil, podendo ser rebocado com cabo leve, a partir de qualquer embarcação. A sua dupla frequência e diversos alcances permitem também definir a resolução desejada para o levantamento.

#### 3.2. Campo magnético

O processamento de dados foi realizado através de pequenas rotinas desenvolvidas no *software*

MATLAB que consistiram na correção da variação diurna do CMT, correção do campo regional, posicionamento dos dados e correção da influência magnética do NRP Andrómeda. Após processamento e cálculo de uma superfície de integração no *software* ARCGIS da ESRI, foi obtida uma carta de anomalias magnéticas do parque Ocean Revival (Figura 6). As cinco principais anomalias apresentam amplitudes de pico a pico de cerca de 3500 nT, 1600 nT, 1500 nT, 200 nT e de 100 nT. Após correlação com as posições conhecidas dos navios afundados conclui-se que as principais anomalias magnéticas detetadas têm como origem, pela mesma ordem, o ex-NRP “Cte. Hermenegildo Capelo”, proa do ex-NRP “Oliveira e Carmo”, ex-NRP “Zambeze”, popa do ex-NRP “Oliveira e Carmo” e o ex-NRP “Almeida de Carvalho”.

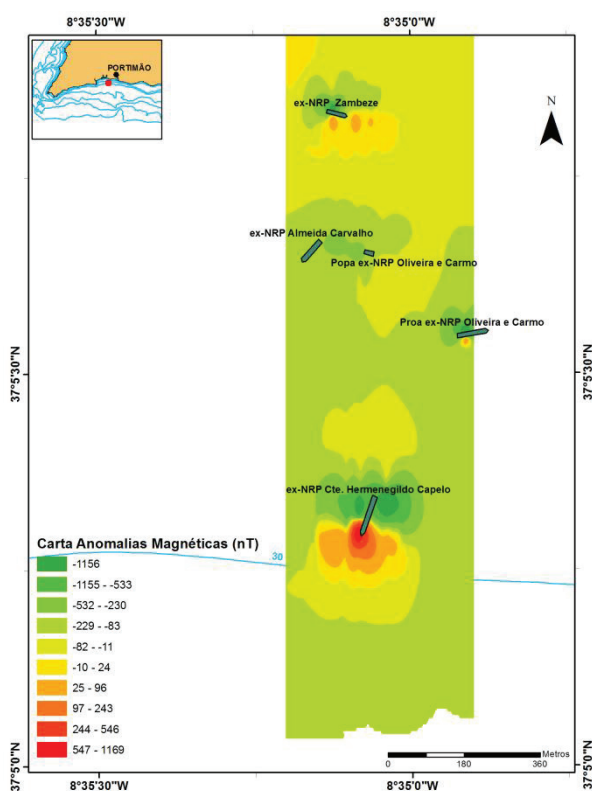


Fig. 6. Carta de anomalias magnéticas obtidas com magnetómetro SeaSpy.

A forma e amplitude da anomalia detetada, originada pelo ex-NRP “Almeida de Carvalho” são diferentes ao que se esperaria, visto que o seu deslocamento ser muito próximo ao ex-NRP “Oliveira e Carmo”, cerca de 1300 t.

### 3.3. Imagens vídeo

O tratamento das filmagens obtidas pela câmara instalada no ROV inicia-se pela conversão dos vídeos para formato AVI e posterior edição.

As filmagens permitiram observar o estado de conservação dos navios, o qual se verificou ser variável e função resultante do tempo que se encontram afundados. O ex-NRP “Zambeze”, é o que apresenta uma maior cobertura de fauna e flora

subaquática local. O ex-NRP “Almeida de Carvalho”, tendo sido o último navio a ser afundado, é o que apresenta menor cobertura de fauna e flora subaquática, sendo possível observar, ainda, a sua cor branca. Foi feito um mergulho na parte quebrada da popa do ex-NRP “Oliveira e Carmo” que mostra ainda arestas bem vivas no metal fraturado. Devido à profundidade do local e condições METOC existentes no dia do mergulho ao ex-NRP “Hermenegildo Capelo” este foi muito breve e permitiu observar somente a peça de vante (Figura 5). A existência de elevada turbidez (material sedimentar em suspensão na coluna de água) dificultou a aquisição de imagens vídeo de boa qualidade.

## 4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cartografia de elevada resolução, efetuada a partir dos registos de sonar lateral, permitiu caracterizar e posicionar, com rigor, os navios afundados no parque de mergulho recreativo OCEAN REVIVAL, bem como os ferros que auxiliaram a sua colocação, e outros objetos que se encontravam no local. Verificou-se também que o ex-NRP “Almeida Carvalho” possui uma assinatura acústica e magnética distinta dos restantes navios. Este facto poder-se-á dever à sua construção e a uma eventual desmagnetização. Esta última explicação poderá ser verificada em futuro levantamento magnético, planeado para caracterizar a assinatura magnética deste navio.

A utilização desta ferramentas de deteção e inspeção permitem fazer uma monitorização eficiente do estado dos navios/objetos afundados e avaliar o seu estado de conservação ao longo do tempo. A utilização de sistemas de deteção e inspeção remota para monitorização de locais cuja preservação e monitorização é importante, é reconhecida, desde há algum tempo sendo uma forma eficiente e rápida de caracterização de objetos no fundo marinho.

### Agradecimentos

Agradece-se ao Sr. Luís Sá Couto da empresa Subnauta pela sua disponibilidade em fornecer informação sobre a localização dos navios afundados e imagens multifeixe dos mesmos.

### REFERÊNCIAS

Fradique, C. (2014). *Exercício ROVEX/SONAR/MAGEX no Parque de Mergulho Ocean Revival 2013-11-05 a 2013-11-15.*, Relatório Técnico Final GM 01/14, 24 pp (não publicado).



# Visualização de navios afundados pela retroreflexão acústica na coluna de água

C. Marques<sup>(1)</sup>, C. Monteiro<sup>(1)</sup>, R. Almeida<sup>(1)</sup> e J. Vicente<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico, videira.marques@hidrografico.pt

**Resumo:** A atual capacidade de armazenamento de dados permite o desenvolvimento de novos sistemas multifeixe que, além de dados de batimetria, podem recolher dados acústicos de toda a coluna de água, tornando possível recriar em imagens 3D, quer a morfologia do fundo do mar, quer a dos objetos que se situam no espaço entre o sistema sondador e o fundo, no instante da aquisição. O Instituto Hidrográfico utiliza, nos levantamentos hidrográficos, os mais evoluídos sistemas sondadores multifeixe, garantindo não só um conhecimento exaustivo da morfologia do fundo, com reduzidos valores de incerteza, mas também a deteção das estruturas não naturais, como os destroços de navios. Da combinação dos dados da coluna de água com os dados de batimetria pode obter-se uma imagem completa do navio, garantindo a deteção do ponto correspondente à profundidade mínima no local dos destroços, essencial para a segurança da navegação, e ainda imagens detalhadas de interesse para o turismo, arqueologia e até para a busca e salvamento. Pretende-se mostrar os resultados obtidos em áreas de navios afundados recorrendo ao uso dos dados da coluna de água e de software dedicado.

**Palavras-chave:** Levantamentos Hidrográficos, Coluna de água, Sondadores Multifeixe, Navios Afundados.

## 1. INTRODUÇÃO

Nas competências do Instituto Hidrográfico (IH) inclui-se a produção e atualização das cartas náuticas nacionais, garantindo a segurança da navegação nas águas portuguesas (DL 134/91). Assumindo sempre a prioridade do conhecimento do fundo do mar, o IH sempre recorreu às mais avançadas e fiáveis técnicas de sondagem, utilizando hoje sondadores acústicos multifeixe de elevada resolução. Os novos sistemas permitem, adicionalmente aos dados de batimetria, a aquisição de dados da coluna de água (WCL - *Water Column*), entre o transdutor e o fundo.

No último ano foram realizados pelo IH vários Levantamentos Hidrográficos (LHs) utilizando os sistemas Kongsberg EM3002 e EM2040C em locais onde existem navios naufragados, com o intuito de confirmar e atualizar a informação batimétrica existente, e verificar a sonda mínima no local. Utilizando o EM3002 foram analisados vários locais onde se encontram navios afundados: ao largo de Leixões, à saída da barra de Vila Real de Santo António. Com o EM2040 foi analisado o parque *Ocean Revival*, junto a Portimão, onde se encontram vários navios de Guerra. Foram ainda utilizados ambos os sistemas, para comparação, na análise dos navios afundados no rio Tejo, junto a Alcântara.

Utilizando o *software* CARIS HIPS é possível analisar os dados de batimetria e ainda da coluna de água, obtendo uma imagem final do atual estado dos navios identificados.

## 2. A COLUNA DE ÁGUA

Os dados de coluna de água adquiridos pelos sistemas acústicos de multifeixe correspondem aos valores de retrorefletividade captados pelo sistema durante o processo de aquisição de dados de batimetria. A deteção do fundo é efetuada identificando no trajeto do raio acústico o local com

valores de intensidade de reflexão elevados, pelo que a aquisição de dados da coluna de água nestes sistemas é efetuada gravando a refletividade durante todo o trajeto do raio acústico na coluna de água (Marques, 2012).

A grande vantagem dos sistemas multifeixe consiste no facto de adquirirem dados da coluna de água, adicionalmente aos dados de batimetria, ambos georeferenciados, numa larga faixa sondada.

## 2. NAVIOS NO TEJO- VILLE DE VICTÓRIA

De entre os vários navios que se encontram afundados junto a Alcântara no rio Tejo apenas o '*Ville de Victoria*' apresenta estruturas para possível análise na coluna de água, os restantes encontram-se sem estruturas salientes, sendo facilmente analisados recorrendo apenas à batimetria.

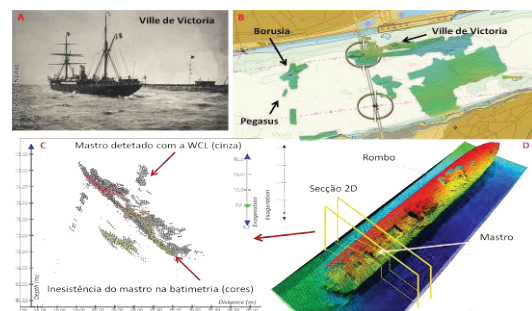


Fig. 1- Navio 'Ville de Victoria': A) navio a navegar, B) local atual do navio, C) imagem 2D da deteção do mastro, D) imagem 3D, mostrando secção 2D

O navio '*Ville de Victoria*' é um navio comercial francês que afundou a 24 de dezembro de 1886 após ser abalroado pelo couraçado Inglês HMS '*Sultan*'. O casco do navio permanece bem conservado, no entanto, a única estrutura saliente ainda existente é parte do mastro de ré, com cerca de 2m de altura e 1m de diâmetro. É possível verificar na



Fig. 1C que o mastro não é identificado pelo algoritmo de deteção de fundo do EM3002, sendo no entanto identificável a sua existência nos dados da coluna de água de ambos os sistemas.

A

Fig. 1 D mostra a deteção do navio numa imagem 3D utilizando a batimetria e a coluna de água. É visível nesta imagem grande detalhe da estrutura atual do navio incluindo o mastro e o rombo que originou o seu naufrágio.

O desempenho dos algoritmos de deteção de fundo depende de vários fatores, incluindo tipo de fundo, dimensões dos objetos, ângulo do feixe. Este local foi definido para os testes iniciais pela sua simplicidade e singularidade do mastro a detetar, simplificando a análise dos dados.

### 3. ÁREA DE LEIXÕES, SUBMARINO E REBOCADOR

#### 4.1. Submarino U-1277

O ‘Uboot U-1277’ é um submarino alemão da classe VII-C afundado no final da II Guerra Mundial, a 3 de junho de 1945, ao largo de Leixões. Este navio se encontra-se em mar aberto, exposto a todos os efeitos do oceano, constituindo um bom local para diferenciar e identificar estruturas não naturais. Pretendia-se verificar a existência da torre e de alguns indícios da existência de mastros, periscópio, lemes utilizando os dados recolhidos com o sistema multifeixe. A Fig. 2 mostra o U-1277 e a imagem 3D dos dados de batimetria recolhidos pelo EM3002.

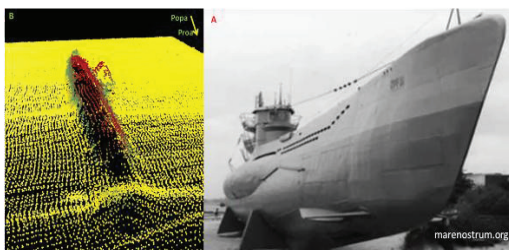


Fig. 2 - Submarino U1277: A) Submarino a seco, B) Imagem 3D obtida pelo EM3002

Na Fig. 3 é mostrado o modelo batimétrico (MB) com o U-1277 (A), e uma imagem 3D apresentando a tons de cinza a coluna de água (B).

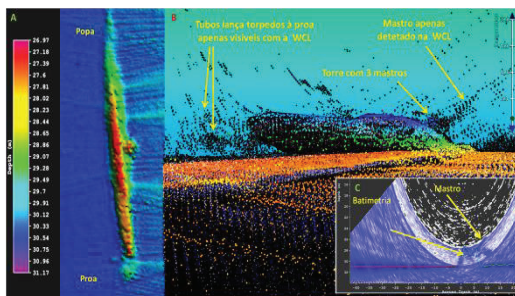


Fig. 3 - U1277, A) MB, B) imagem 3D, C) Swath com dados WCL. Imagens B) e C) mostram deteções na WCL em tons cinza/azul

Nesta figura verifica-se que o casco exterior já não existe ou está bastante danificado, parte da torre do U-boot ainda existe, apresentando 3 mastros apenas detetados com recurso à coluna de água, tal como os 2 tubos lança torpedos identificados à proa. Mostra-se também a deteção efetuada apenas num *swath* (C), onde se verifica, através da retrorefletividade da coluna de água, a existência do mastro maior.

A Fig. 4 mostra a deteção dos mastros na zona da torre do U-1277, recorrendo a imagens 3D e 2D, com o uso da coluna de água em tons de cinza/azul. Aqui se mostra que os mastros apenas são detetáveis através da coluna de água, não sendo detetados pelo algoritmo de deteção de fundo.

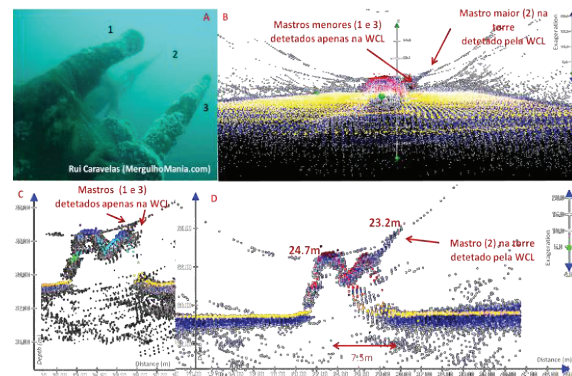


Fig. 4 - Deteção dos mastros do U-1277 na WCL

A) Fotografia dos mastros recolhida em mergulho, B) Imagem 3D, C) Imagem 2D com deteção 2 mastros, D) imagem 2D com deteção dos 3 mastros e diferenças de profundidade

Neste navio foi possível detetar, com a coluna de água, 2 mastros com 0,9m de altura, 1 mastro com cerca de 3,8m de altura e 2 tubos lança torpedos, com cerca de 3,6m de comprimento e 0,6m de diâmetro.

O papel da coluna de água é de grande importância neste local acusando alterações relevantes na batimetria. Por exemplo no caso dos mastros, a sonda mínima no local passa de 24,7m para 23,2m e é deslocada 7,5m. Revelou-se ainda que a validação da sonda mínima pelo hidrógrafo, 24,5m, por poder utilizar apenas a batimetria obtida pelo algoritmo de deteção de fundo, recai sobre uma sonda inexistente, que corresponde a ruído, que apenas pode ser confirmado na coluna de água.

#### 4.2. Rebocador ‘Charneca’

Este rebocador encontra-se afundado a sul do molhe oeste do porto de Leixões. O navio afundou a 16 de fevereiro de 1986 após ter embatido no molhe devido a uma tempestade. A Fig. 5A mostra o ‘Charneca’ e a Fig. 5B o MB com os dados recolhidos com o EM3002. Na Fig. 5 mostram-se ainda as imagens 2D e 3D com os dados recolhidos no local, onde se apresenta, além do rombo que causou o afundamento do navio, a deteção dos restos do mastro do rebocador, a ré da casa do leme. Foi também detetado o respirador de BB, sendo possível,

através da coluna de água verificar em ambos uma diferença de cerca de -0,5m para sonda mínima.

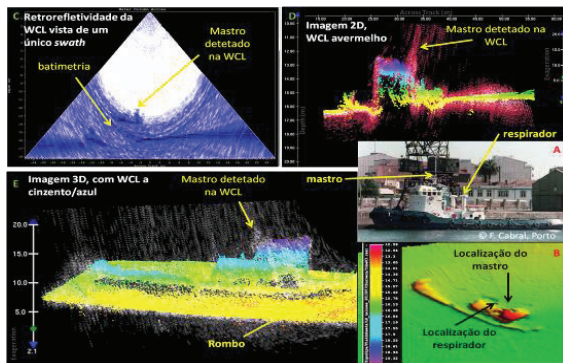


Fig. 5 - ReboCADOR 'Charneca' (A), MB local (B), detecções WCL. Detecção do mastro na WCL, imagem swath (C), 2D (D), 3D (E)

#### 4. VILA REAL DE SANTO ANTÓNIO – EMPIRE WARRIOR

O navio 'SS Empire Warrior' é um navio de carga alemão, de 1309 Ton, capturado e colocado ao serviço da Royal Navy em 1939, afundado no final da II Guerra Mundial a 19 de junho de 1941 à saída da barra de Vila Real de Santo António após ter sido bombardeado. Deste navio existem apenas alguns destroços acima do solo marinho, tendo no entanto sido possível identificar a existência de algumas estruturas apenas com recurso à coluna de água, não tendo sido detetadas pelo algoritmo de deteção de fundo, situação que se ilustra nas imagens.

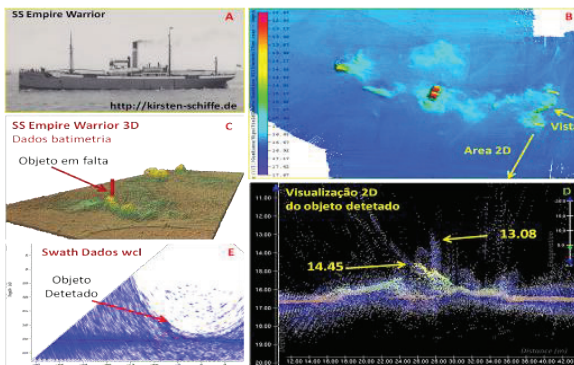


Fig. 6 - SS Empire Warrior, deteção de objeto não identificado. A) Foto navio a navegar, B) MB do local onde se encontra o navio, C) Imagem 3D D) imagem 2D, E) WCL de um swath; mostrando o objeto detetado

#### 5. OCEAN REVIVAL (PARQUE ARTIFICIAL)

O parque Ocean Revival é um parque subaquático turístico dedicado especificamente ao mergulho. Este parque conta com 4 ex-navios da Marinha Portuguesa (um navio patrulha, uma corveta, uma fragata e um navio científico). Todos os navios foram limpos e preparados para deliberadamente serem afundados em locais pré definidos, ver Fig. 7, tendo o último navio sido afundado no final de 2013. Apresentam-se em seguida as suas características:

- Patrulha Oceânico Ex-NRP 'Zambeze' P1147, 44m de comprimento, 8m de boca;

- Corveta Ex-NRP 'Oliveira e Carmo' F489, 85m de comprimento, 12m de boca;
- Fragata Ex-NRP 'Cte Hermenegildo Capelo' F481, 102m de comprimento, 12m de boca;
- Navio Hidrográfico Ex-NRP 'Almeida Carvalho' A527, 64m de comprimento, 12m de boca

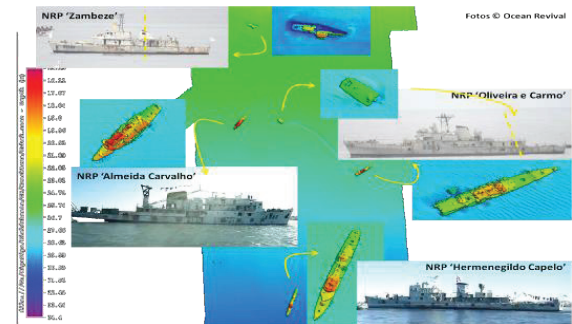


Fig. 7 - Localização e identificação dos navios num MB

#### 6.1 Patrulha Oceânico Ex-NRP 'Zambeze' P1147

O Ex-NRP Zambeze encontra-se partido pela zona da chaminé, não sendo visível a chaminé nem o mastro que se julga ter partido e estar no solo. É possível identificar a maioria das estruturas do navio recorrendo à batimetria e à coluna de água. Estruturas de menores dimensões, como balaustres (cerca de 1m de altura), pau da bandeira a ré (cerca de 3,19m), mastro a ré (cerca de 3,2m), reduto das peças de vante e ré, quebra-mar são apenas identificáveis recorrendo à coluna de água.

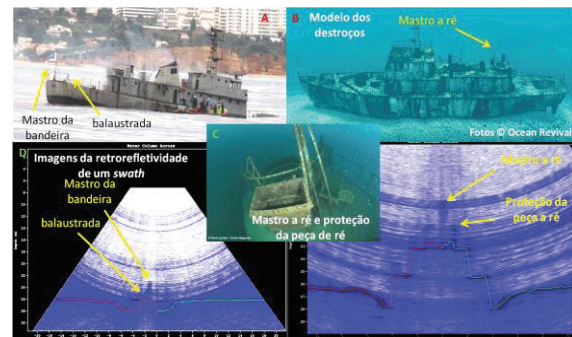


Fig. 8 - Várias detecções no Patrulha 'Zambeze' A) Foto do 'Zambeze', B) Modelo do navio, C e D) detecções em Swaths de WCL

#### 6.2 Corveta Ex-NRP 'Oliveira e Carmo' F-489

A Corveta encontra-se separada em duas partes, a popa, seccionada junto à superestrutura de ré e o restante navio. É também aqui identificável a maioria das estruturas, recorrendo essencialmente à coluna de água para estruturas que não o casco ou superestruturas. São exemplo o mastro da bandeira a ré (cerca de 3,9m de altura), os porta cabos a ré (cerca de 1m), os balaustres (cerca de 1m), O mastro principal completo (cerca de 9,8m). A Fig. 9 ilustra a deteção do mastro utilizando a batimetria e completando o mastro com a coluna de água.



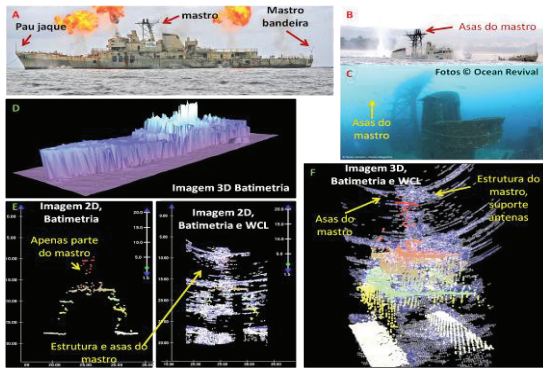


Fig. 9 - Deteções na Corveta utilizando imagens 2D (E) e 3D (F), A,B,C mostram imagens do navio, D é um modelo 3D gerado com a batimetria

### 6.3 Fragata Ex-NRP ‘Comandante Hermenegildo Capelo’ F-481

A estrutura da fragata aparenta estar em boas condições. Mais uma vez é possível reconhecer a grande maioria das estruturas do navio, com a coluna de água a desempenhar um papel muito importante na sua definição. Apenas recorrendo à coluna de água é possível detetar a maioria das estruturas, tais como: o pau de jaque (cerca de 2,3m de altura), o cano da peça de 100mm (cerca de 4,7m de comprimento), o mastro completo, o pau da bandeira (cerca de 2,3m), etc. A Fig. 10 descreve algumas das deteções.

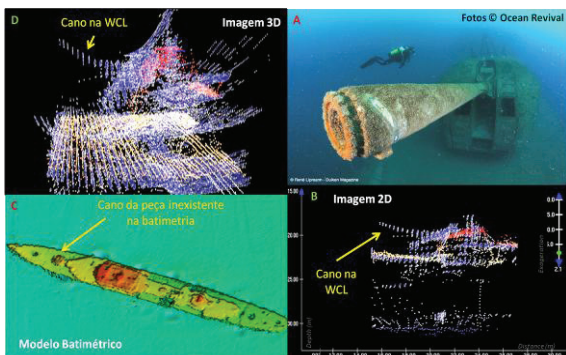


Fig. 10 - O cano da peça de 100mm, AV, identificado através da WCL

### 6.4 Navio Hidrográfico Ex-NRP ‘Almeida Carvalho’ A-527

O navio hidrográfico encontra-se adornado a bombordo, mostrando na coluna de água a maioria das suas estruturas. É possível visualizar nas imagens 3D (Fig. 11D, Fig. 13D) estruturas como o mastro (cerca de 6,3m de altura), a chaminé completa, o pórtilo (cerca de 3m), o mastro à proa (cerca de 3,4m), as balaustradas, a grua completa, etc. Mostram-se ainda imagens 2D (Fig. 12, Fig. 13) com outras deteções. De realçar que, como se ilustra na Fig. 11B a grande maioria das estruturas não é detetada na batimetria.

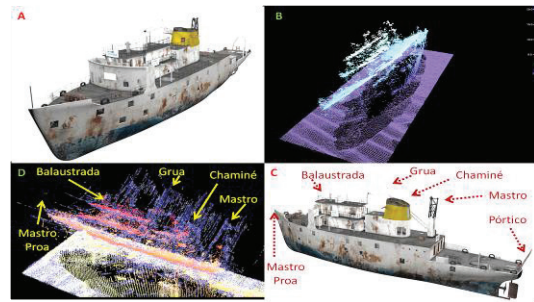


Fig. 11 - Navio hidrográfico, modelos (A, C) e imagens 3D (B, D) sem WCL e D com WCL mostrando a maioria das estruturas

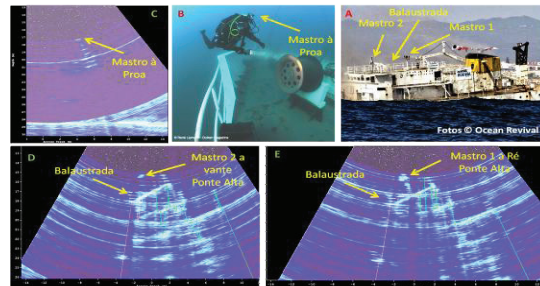


Fig. 12 - Deteções mostradas em imagens de swaths de WCL A e B mostram o navio, C, D e E mostram algumas estruturas

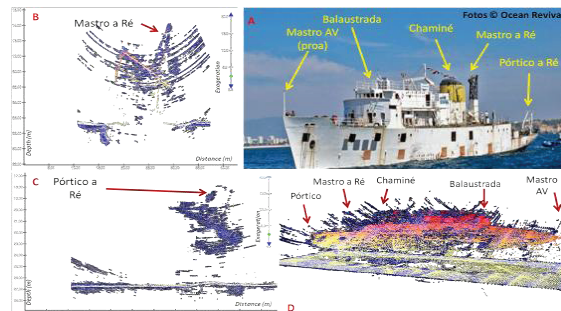


Fig. 13 - Imagens 2D e 3D de várias estruturas identificadas na WCL, A mostra o navio, B e C são imagens 2D e D uma vista 3D

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da coluna de água é essencial para a identificação completa de todas as estruturas de navios afundados, ou de uma forma geral de estruturas não naturais de formato complexo ou dimensões menores. Os algoritmos de deteção de fundo aplicados pelos sistemas multifeixe são essencialmente preparados para fundos naturais, e pela sua robustez não podem garantir deteções de formas mais complexas. A análise da coluna de água carece de especiais cuidados, sendo necessário ter sempre presente as características do feixe acústico utilizado pelo sistema, por forma a excluir o ruído e localizar os objetos corretamente.

## REFERÊNCIAS

DL 134/91, Decreto de Lei 134/91 de 4 de Abril, Diário da República Portuguesa, Série I’A.  
 Marques, C. (2013). “Automatic mid-water target detection. using multibeam water column”, MscEng Thesis, University of New Brunswick

# Metodologia para a realização de levantamentos magnéticos marinhos para deteção de objetos

S. Silva<sup>(1)</sup>, F. Santos<sup>(2)</sup> e R. Taborda<sup>(2)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico, [sandra.silva@hidrografico.pt](mailto:sandra.silva@hidrografico.pt)

(2) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

**Resumo:** Um levantamento do campo magnético de referência, para além de fornecer um registo do campo magnético terrestre, poderá permitir a deteção de diversos tipos de objetos e estruturas, à superfície ou enterrados, constituídos por materiais com propriedades magnéticas, tais como: navios afundados, artefactos arqueológicos e infraestruturas portuárias. Os objetos traduzem-se em anomalias magnéticas com baixa amplitude e curto comprimento de onda, normalmente desprezáveis na caracterização regional do campo magnético. A diferente escala de trabalho leva à necessidade do desenvolvimento e implementação de uma metodologia própria e mais adequada desde a fase de planeamento até ao processamento e análise de dados. Com base no conhecimento existente em levantamentos magnéticos marinhos, na análise de ensaios e de simulações realizadas, foi definida uma metodologia que, em função de vários condicionantes e constrangimentos, definem os planeamentos e as principais correções a aplicar em levantamentos magnéticos no mar para a deteção de objetos.

**Palavras-chave:** campo magnético, deteção de objetos, magnetómetro metodologia.

## 1. INTRODUÇÃO

Em operações de guerra de minas, de proteção portuária e de construção de estruturas ao longo da costa é necessária uma caracterização ambiental de referência. Esta caracterização contempla inúmeros fatores ambientais entre os quais geofísicos, nomeadamente uma caracterização do campo magnético.

O campo magnético (CM) medido num determinado local resulta da soma do campo magnético terrestre (CMT) com uma componente antropogénica (CA). O CMT resulta da sobreposição de três campos magnéticos: campo principal (CP) com origem no núcleo externo; campo crustal (CC) que resulta da soma das propriedades magnéticas do material crustal; e campo externo (CE) que resulta da interação dinâmica entre os CM do Sol e da Terra. Por sua vez, a CA é definida por todos os objetos de origem humana com propriedades magnéticas existentes na superfície terrestre e/ou enterrados a poucos metros de profundidade como: navios afundados, contentores, tubagens, partes de gruas e outras estruturas dos navios e de infraestruturas portuárias, artefactos arqueológicos, entre outros.

Os objetos traduzem-se em anomalias magnéticas com baixa amplitude e curto comprimento de onda, normalmente desprezáveis na caracterização regional do campo magnético. Em função dos objetivos do trabalho, a escala a que se está a descrever o campo colocam problemas específicos, pelo que se tornou necessário desenvolver e implementar uma metodologia desde a fase de planeamento até ao processamento e análise dos dados.

## 2. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

A medição da densidade do fluxo magnético de um CM é feita por um sensor denominado por magnetómetro. Para a medição do CM no mar, o sensor é geralmente rebocado, através de um cabo eletromecânico, a uma distância suficientemente grande para evitar a possível influência das propriedades magnéticas da embarcação. Para a deteção de objetos, é desejável que o reboque se efetue em profundidade, ou seja, a uma menor distância ao fundo, é necessária.

De acordo com os meios e a disponibilidade financeira, existem várias configurações no que diz respeito: ao tipo de sensor, ao número de sensores, à utilização de sensores auxiliares, à sua colocação num veículo rebocado ou num veículo autónomo, ao tipo de posicionamento utilizado, entre outros. Cada configuração que é definida apresenta as suas vantagens e desvantagens.

Como exemplo de configuração, tem-se o sistema utilizado pelo Instituto Hidrográfico (IH), que é constituído por um magnetómetro rebocável, MARINE MAGNETICS SEASPY que regista o valor do CM até uma taxa máxima de 4 Hz, e um magnetómetro de montagem em estação em terra ou no mar, MARINE MAGNETICS SENTINEL, que regista a variação temporal do valor do CM a uma taxa máxima de 2 Hz. Ambos os magnetómetros são compostos por sensores de precessão protónica, de efeito *Overhauser*, omnidirecionais, sem erro de rumo, e com uma resolução de 0.001 nT.

No que diz respeito aos sistemas de posicionamento, a solução ideal seria a combinação de um sistema de posicionamento global por satélite (com correção diferencial), para o posicionamento da plataforma de reboque, com sensores de atitude, para determinação da inclinação e proa da plataforma, e com um



sistema de posicionamento acústico, que posiciona o magnetómetro relativamente à plataforma de reboque. No entanto, a logística e os custos de utilização de sistemas de posicionamento acústico e de sensores de atitude impedem muitas vezes a sua utilização, pelo que a posição é obtida com recurso ao posicionamento por satélite da plataforma (preferencialmente com correção diferencial para um melhor rigor), ao conhecimento do comprimento de cabo de reboque e à informação dada por outros sensores, como o sensor de pressão, que regista a profundidade a que está o sensor.

### 3. PLANEAMENTO E EXECUÇÃO DO LEVANTAMENTO

Na definição de um planeamento para deteção de objetos, é preciso, em primeiro lugar, ter a descrição do objeto a detetar e determinar as suas principais características físicas de modo a que se consiga estimar a sua massa e a sua susceptibilidade magnética.

O segundo passo consiste na definição do valor da anomalia mínima que o magnetómetro deverá detetar, a sua resolução operacional. Este valor dependerá não só da resolução do magnetómetro (incluindo o do seu ruído eletrónico), mas também do ruído proveniente de vários condicionantes, cuja amplitude e período se aproximam do registo do objeto a detetar, podendo impedir a sua deteção. Exemplos destes condicionantes são: a variação dos

campos que compõem o CMT, a variação da altitude, a influência magnética da embarcação, a influência magnética ambiente, que é devida a deslocamentos de massas de água e influência magnética ambiente de fontes antropogénicas, que não as de interesse.

Assumido o valor resolução operacional ( $B_{objeto}$ ), as características físicas do objeto (susceptibilidade magnética,  $X_{objeto}$ , e massa,  $m_{objeto}$ ), e o valor do CM local ( $B_{CMT}$ ), é definida a distância mínima ( $r$ ) a estabelecer do sensor ao objeto através da equação (1), assumindo os seguintes pressupostos: uma distância ao objeto superior ao seu comprimento; a mesma direção das magnetizações permanente e induzida; e a não consideração da sua magnetização permanente.

$$B_{objeto} = \frac{B_{CMT} \cdot X_{objeto} \cdot m_{objeto}}{r^3} \quad (1)$$

Sabendo a distância mínima ao sensor, definindo a distância ao fundo desejada e o possível enterramento do objeto, é possível através da simples aplicação do teorema de Pitágoras determinar a distância entre fiadas (Fig. 1). A esta distância calculada, deve ser somado o erro associado ao afastamento médio da embarcação à fiada planeada e o erro do sistema de posicionamento utilizado.

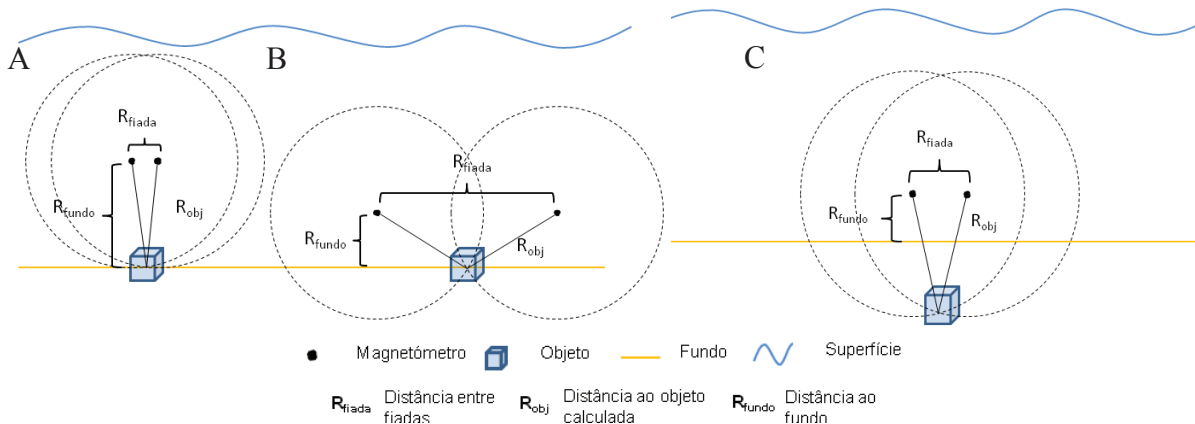


Fig. 1. Imagem representativa do cálculo da distância entre fiadas, para deteção de um objeto no fundo, com o sensor a duas distâncias ao fundo, A e B, e deteção de um objeto enterrado, C (Silva, 2013).

Para a definição de um planeamento resta decidir os últimos dois parâmetros, a taxa de amostragem e a velocidade de modo a garantir que a anomalia de um objeto seja devidamente amostrada. No que diz respeito à taxa de amostragem, definiu-se que quatro amostras seriam o suficiente para reconstituir a amplitude e comprimento de onda do sinal proveniente de um dipolo magnético. No entanto, como o magnetómetro se encontra em movimento o número mínimo de amostras podem não ser os valores necessários à reconstituição da anomalia.

Desta forma deve ser utilizada a taxa máxima de amostragem do sensor e garantir a resolução espacial necessária definindo uma velocidade máxima de levantamento. No que diz respeito à velocidade esta deve ter em conta, para além da resolução espacial determinada, o controlo da embarcação e a eficiência do levantamento.

Na execução do levantamento há duas condicionantes principais a ter em conta: a orientação das fiadas e o comportamento do CE. No que diz respeito à orientação do levantamento, este

levantada, da morfologia do terreno e mesmo das condições meteorológicas e oceanográficas.

A monitorização variação do CE levou à criação de índices de atividade solar que permitem prever tempestades magnéticas e conseqüentemente alturas de maior probabilidade de instabilidade do CMT. A consulta deste índice permite definir a realização de um levantamento magnético numa altura de baixa atividade.

#### 4. PRINCIPAIS CORREÇÕES A REALIZAR

##### 4.1 Influência Magnética de uma embarcação

O reboque do magnetómetro é feito através de uma embarcação cujos materiais de construção, sistemas de propulsão e geradores poderão influenciar a medição do campo. Estes materiais, normalmente de natureza magnética, determinam uma maior ou

menor influência consoante a sua magnetização total relativamente ao CMT, a sua distância ao sensor e com o CMT local da área de levantamento (Bullard e Mason, 1961). A forma mais eficiente de tentar minimizar a influência da embarcação será rebocando o magnetómetro a uma maior distância da embarcação. No entanto, dado que aquela distância será sempre finita, existirá sempre alguma influência que deverá ser quantificada para realizar a devida correção dos registos. Esta quantificação é obtida pela realização de um levantamento que leva a que a embarcação reboque o magnetómetro a uma determinada distância e segundo diferentes rumos, segundo um planeamento circular ou radial. De acordo com exemplos de quantificação desta influência encontrados na bibliografia e os resultados dos ensaios realizados, verificou-se que a melhor quantificação é obtida realizando um planeamento radial (Fig. 2).

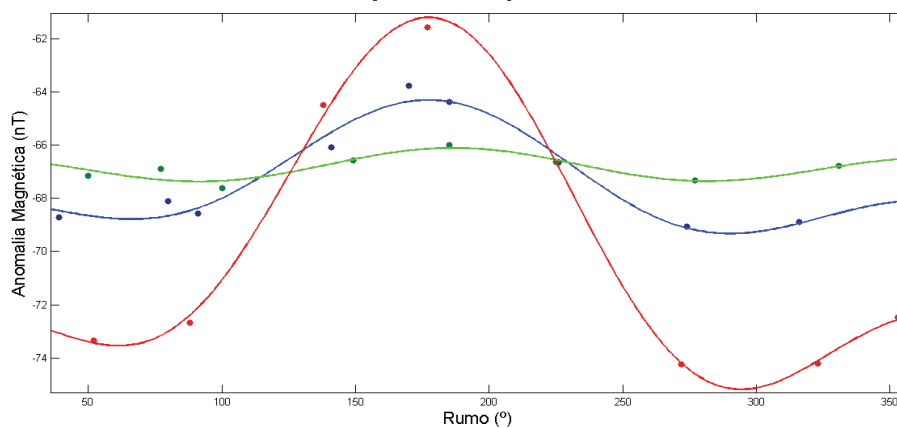


Fig. 2. Projeção dos resultados obtidos com o magnetómetro rebocado a uma distância de 80 m do navio, a vermelho, de 120 m, a azul e a 200 m a verde, de acordo com um planeamento radial. Nas mesmas cores encontram-se projetadas as curvas que melhor se ajustam (Silva., 2013).

Este planeamento consiste na realização de fiadas com um ângulo entre si, cruzando-se no mesmo ponto médio. Embora este seja um levantamento mais demorado, é o que garante que o magnetómetro siga o mesmo rumo da embarcação, rumo este que fará variar a influência magnética que se pretende medir.

##### 4.2 Posicionamento

O posicionamento dos dados resultantes da medição do campo magnético é extremamente importante quando se pretende detetar objetos. As características físicas do cabo e do magnetómetro, a velocidade de reboque do magnetómetro e a influência do movimento da embarcação de reboque são os principais condicionantes na definição da posição do magnetómetro (Breiner, 1975).

Considerando um sistema rebocável, um posicionamento global por satélite com correção diferencial, um comprimento de cabo fixo e conhecendo-se as distâncias entre o ponto de referência à antena de GPS e a profundidade do magnetómetro, o primeiro passo, para se conhecer a

posição do magnetómetro, é determinar a distância deste último à antena de GPS, ou seja, o valor de *layback*. O segundo passo será determinar como aplicar o valor de *layback* às posições obtidas pela antena de GPS.

Partindo-se do valor de cabo na água, da profundidade do magnetómetro e da distância à antena de GPS testaram-se três métodos de cálculo do valor de *layback*: utilizando o teorema de Pitágoras, um fator de catenária e um método simplificado de forças de arrasto. Desta simulação concluiu-se que o método de cálculo e aplicação do valor de *layback* poderá, ou mesmo necessitará de ser adaptado, a cada situação e sistema utilizado.

No que diz respeito à aplicação do valor de *layback* à posição de GPS existem essencialmente dois métodos: deslocamento, considerando que o rumo da embarcação é o mesmo do magnetómetro; arraste, calculando o rumo do magnetómetro em relação da embarcação. A aplicação do valor de *layback*, calculado de acordo com o método por arraste parece representar melhor o comportamento real do magnetómetro ao ser rebocado. No entanto, nenhum

destes métodos consideram possíveis correntes laterais que possam haver, situação esta bastante provável em ambientes portuários e estuarinos, e que poderá criar uma maior instabilidade no magnetómetro, logo, um maior desvio lateral deste mesmo ao rumo calculado.

#### 4.3 Campo Externo

A variação do CE consiste essencialmente em variações periódicas e variações não periódicas. As variações periódicas, por exemplo a variação diurna, apresentam-se como uma variação de baixa frequência. As variações não periódicas, por exemplo tempestades magnéticas e micropulsões, apresentam-se como variações de alta frequência. Dada a existência destas variações e como o magnetómetro adquire em movimento, a correção dos dados é necessária para retirar sua variação temporal e analisar os dados relativos ao mesmo

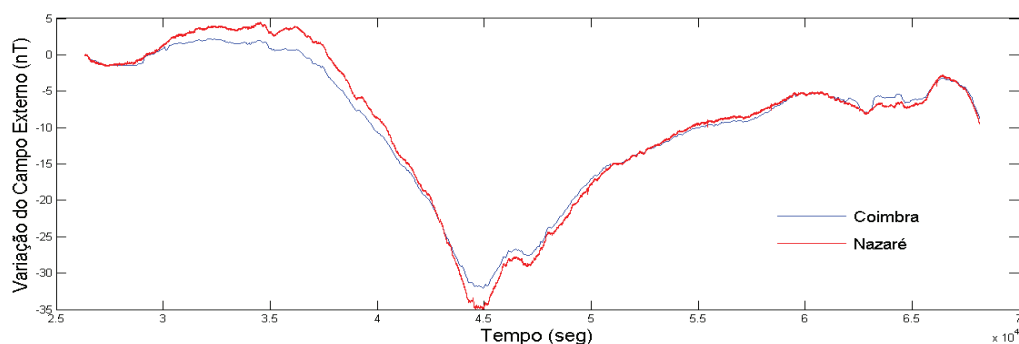


Fig. 3. Variação do CE da estação do observatório de Coimbra e de uma estação colocada na Nazaré para a correção de um levantamento (Silva.,2013).

A correção dos dados com estes dois registos leva à introdução de uma variação inexistente no registo, no entanto devido à sua alta frequência nunca iria ser atribuída a um objeto.

A taxa de amostragem dos magnetómetros quer em estação, para o registo da variação do CE, quer rebocável, também irá ser determinante nos tipos de variações não periódicas do CE que poderão ser amostradas.

## 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora os ensaios estudados se tenham baseado numa configuração de um só sensor, os condicionantes apresentados terão de ser considerados em qualquer configuração escolhida.

O trabalho apresentado permite definir uma metodologia que considera vários condicionantes a considerar na realização de um levantamento magnético no mar para a deteção de objetos, e as principais correções a aplicar. O produto final da aplicação desta metodologia é uma carta de anomalias de uma área de interesse.

instante. As variações periódicas são facilmente corrigidas, por análise da variação do CM nos registos ou subtração do valor da variação diurna registada numa estação, por exemplo. Porém, as variações não periódicas podem muitas vezes conduzir a erro na deteção de um possível objeto.

No registo do CM em estação, para posterior correção dos dados, há algumas considerações a ter em conta na sua montagem. A estação terá de ser montada o mais longe possível de estradas, cabos de alta tensão, tráfego marítimo, etc. No entanto, a distância à área de levantamento também terá de ser tida em conta, de modo a que a variação do CE se faça sentir em igual amplitude e fase. Da comparação entre o registo de duas estações distanciadas cerca de 80 km (Fig.3), verificou-se uma variação de amplitude máxima do sinal de cerca de 4 nT.

## Agradecimentos

Ao Instituto Hidrográfico pelo apoio, disponibilidade financeira e dos meios que permitiram a realização deste trabalho que deu origem a uma dissertação de mestrado.

Às guarnições dos navios classe ANDRÓMEDA e respetivos comandantes pelo apoio, como sempre, nas missões realizadas, que muito contribuíram para este trabalho.

Ao Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra pela cedência de dados.

## REFERÊNCIAS

- Breiner, S. (1975). *Magnetics search in marine environment*. Geometrics, Inc.
- Bullard, E. C. e R. G. Mason (1961). The magnetic field astern of a ship. *Deep Sea Research*, Vol. 8, p. 20 a 27.
- Silva, S. (2013). *Desenvolvimento de uma metodologia para realização de levantamentos magnéticos marinhos para deteção de objetos*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 92 pp.

# Rede Portuguesa de boias multiparamétricas em tempo real – a experiência de cinco anos

I. Martins<sup>(1)</sup>, N. Zacarias<sup>(1)</sup> e J. Vitorino<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico; marina.martins@hidrografico.pt

**Resumo:** O Instituto Hidrográfico mantém, desde 2009 uma rede em tempo real de boias multiparamétricas ao largo da costa continental NW Portuguesa. Esta rede foi instalada com o apoio de programas internacionais de financiamento e integra um conjunto de quatro boias Wavescan, fundeadas entre os 2000 e os 80m de profundidade, com uma amarração simples. Cada boia inclui um sensor de movimento inercial, um mastro meteorológico e diversos sensores oceanográficos. Os dados observados são enviados horariamente para o IH e disseminados publicamente. No decorrer dos cinco anos de experiência com estas boias, ocorreram várias derivas, maioritariamente devido a intervenção humana nas amarrações e bastantes problemas de incrustação biológica (*biofouling*) afetando sobretudo os sensores ópticos. Verificaram-se também outros problemas, como os de forte corrosão que encorajaram a procura de materiais mais robustos que suportassem o ambiente marinho hostil a que as boias estão sujeitas, bem como a melhorar e adaptar procedimentos de fundeamento, manutenção e recuperação aos meios navais e humanos disponíveis.

**Palavras-chave:** Boias multiparamétricas, Rede de monitorização em tempo real, MONIZEE.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde a segunda metade do século XX, o Instituto Hidrográfico tem vindo a desenvolver uma capacidade de monitorização e previsão das condições oceânicas da costa Portuguesa (Soares, 2010). Encontram-se presentemente implementadas uma rede de estações maregráficas que integra 16 estações em Portugal continental, Madeira e Açores, todas elas com envio de dados em tempo real; uma rede de estações meteorológicas costeiras Aanderaa, também com transmissão de dados em tempo real via GSM e uma rede costeira de boias ondógrafo direcionais de tecnologia Datawell, bem estabelecida na comunidade mundial de monitorização. A estes três tipos de redes de monitorização, têm vindo a ser acrescentadas desde 2009, uma rede de estações de radar HF do tipo CODAR, atualmente apenas cobrindo as zonas do Algarve e Lisboa, mas com perspectiva de continuar a expandir-se para o restante território; e uma rede de plataformas costeiras e oceânicas multiparamétricas assentes em tecnologia Fugro – Oceanor, beneficiando também das mais modernas capacidades de observação marinha disponíveis no mercado atual.

## 2. A REDE DE BOIAS MULTIPARAMÉTRICAS

A rede de observação em tempo real está em permanente desenvolvimento e nos últimos anos têm sido adicionadas novas plataformas de observação oceânicas – as boias multiparamétricas (Fig. 1).

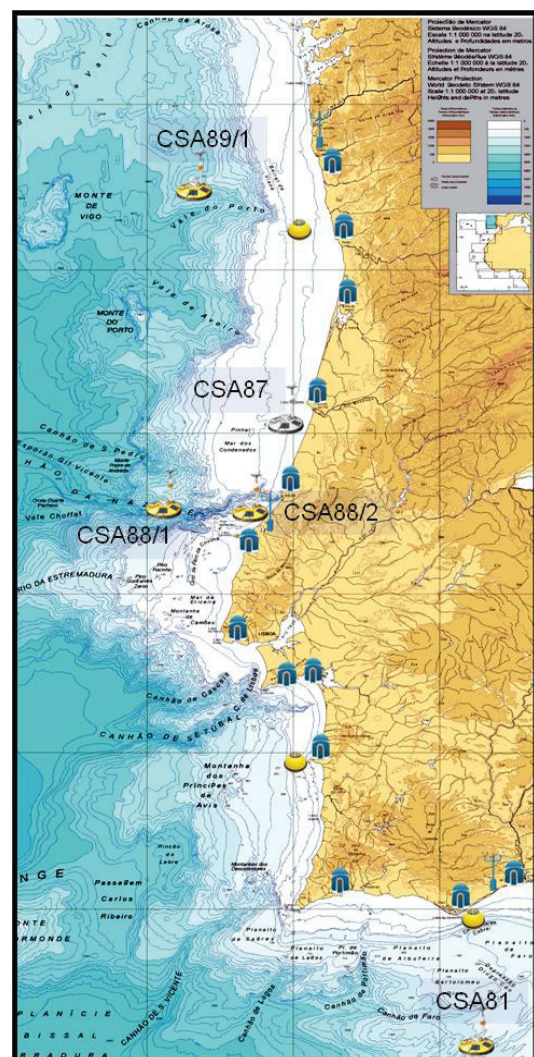


Fig. 1. Rede continental Portuguesa de monitorização em tempo real.



### 2.1. A sua distribuição espacial

Entre 2009 e 2010 foram instaladas duas boias multiparamétricas ao largo da Nazaré, uma costeira (a cerca de 5 milhas de costa, na batimétrica dos 80m – CSA88/2) inicialmente a norte e posteriormente deslocizada para sul da cabeceira do canhão submarino da Nazaré; outra a cerca de 35 milhas de costa, entre os Farilhões e os corredores de navegação, na zona profunda do canhão (aproximadamente 2000m – CSA88/1). Ambas as boias foram financiadas ao abrigo do programa Europeu EEA Grants 2004-2009, no quadro do projeto MONICAN – MONItorização do CANhão submarino da Nazaré. Também em 2010 foi instalada uma terceira boia, a 40 milhas ao largo de Leixões, numa batimétrica de cerca de 1600m – CSA89/1, integrando um projeto de cooperação transfronteiriça entre Portugal e Espanha com financiamento POCTEP, denominado RAIA. No final de 2011, foi adquirida e fundeada uma quarta boia satisfazendo uma prestação de serviços para a zona piloto de aproveitamento de energia das ondas – CSA87, tendo sido desativada no final do contrato e estando a ser preparada para alargar a rede de monitorização oceânica a sul de Portugal continental – CSA81.

### 2.2. Boias multiparamétricas

As boias multiparamétricas do tipo Wavescan são providas de um sensor inercial de movimento que combina também o *datalogger*, e são alimentadas através de baterias recarregáveis com painéis solares. Possuem um mastro meteorológico com sensores de humidade relativa, temperatura do ar, direção e velocidade do vento e pressão atmosférica, que suporta também sinalização, posicionamento e comunicações satélite. O corpo das boias é instrumentado com diversos sensores oceanográficos, como temperatura da água, oxigénio dissolvido, turbidez, clorofila e presença de hidrocarbonetos. Estão também instalados a 7 metros de profundidade, perfiladores acústicos de corrente de 300kHz, que permitem cobrir aproximadamente os primeiros 100m da coluna de água. Uma das boias comporta uma cadeia indutiva de termístores e sensores de pressão. É possível ainda associar diversos outros equipamentos em auto registo ao longo da amarração, consoante estudo prévio de comportamento e interação com a boia. Os sensores meteorológicos e alguns sensores oceanográficos são calibrados em laboratórios nacionais certificados: IH e TAP, sendo outros sensores enviados aos respetivos fabricantes para calibração ou verificação. A maioria dos dados é enviada em tempo real para o IH, onde são decodificados, passam por controlos de qualidade e são disponibilizados ao público através de um portal, bem como geridos em base de dados. Posteriormente, durante as manutenções, são recolhidos os dados brutos gravados internamente, sendo qualitativamente controlados e processados

mais profundamente e disponibilizados ao público mediante solicitação e igualmente geridos em base de dados.

### 2.3. Amarrações

As boias são fixas com amarrações poitadas, simples, em forma de S como o esquema da figura 2, para permitirem uma maior liberdade de movimentos da boia. São amarrações constituídas por cabos de aço nos primeiros metros abaixo da boia e do perfilador acústico, para facilitar a verticalização deste, necessária à boa qualidade dos dados de corrente, bem como da estabilização da boia e interação com cabos sub superficiais à deriva. O seu formato de S é auferido pelo cabo de espalho em *nylon* entrançado de 22mm, de flutuabilidade neutra que permite um elevado grau de liberdade à boia para seguir os movimentos da superfície do oceano. Esta componente superficial da amarração está virtualmente isolada em termos de movimento e tensão da restante amarração sustentada por flutuadores de sub superfície e cabo de polipropileno entrançado de 18mm que percorre cerca de 70% da restante coluna de água até próximo do fundo. Para permitir a recuperação da totalidade da amarração, é colocado junto às poitas (2500kg de blocos de cimento) um libertador acústico suportado por flutuadores de alta profundidade. As ligações entre os componentes da amarração são efetuadas com material de aço galvanizado de alta resistência reforçados com isolantes plásticos junto a equipamentos ou de aço inox, como o caso da armação que sustenta o perfilador acústico de correntes.



Fig. 2. Esquema de amarração simples em forma de S utilizada nas boias multiparamétricas (User manual Wavescan buoy, 2009).

#### 2.4. Procedimentos de manutenção

Para manter a qualidade das observações são necessárias duas grandes manutenções a cada seis meses durante as quais se recupera, realiza a manutenção dos diferentes componentes, sensores e amarração e se fundeia novamente a boia. Estas manutenções são levadas a cabo nos navios hidrográficos da classe D. Carlos I, que possuem as características especiais que este tipo de boias requer, quer em dimensão quer em capacidade de força e manobra. Durante o período de verão, são realizadas ações de manutenção menores para mitigação de fauna marinha em alguns sensores e verificação geral das condições da componente de menor profundidade da amarração. Estas intervenções são realizadas a bordo das lanchas hidrográficas da classe Andrómeda, mais flexíveis em termos de acessibilidade portuária e planeamento. Envolvem também uma equipa de mergulhadores da Marinha que ajudam a contornar a necessidade de recuperar as boias da água para este tipo de manutenções menores e menor dimensão.

Para auxiliar todos estes procedimentos, foram elaborados documentos de apoio, como procedimentos de trabalho, folhas de campo e listas de verificação, com recurso aos manuais, aos conselhos e optimizações fornecidos pelos fabricantes dos diversos sensores e materiais e à experiência adquirida ao longo do tempo, bem como ideias trocadas com outros utilizadores de sistemas semelhantes.

### 3. DESAFIOS ENFRENTADOS

Alguns dos desafios que temos vindo a enfrentar prendem-se com o desenvolvimento de incrustação biológica junto de alguns sensores, que impossibilita a aquisição de dados de qualidade após um período relativamente curto de exposição ao meio marinho. As manifestações mais severas têm lugar durante o verão, nas boias mais costeiras ou na boia oceânica do canhão da Nazaré, devido à proximidade das ilhas da Berlenga e Farilhões, que promovem um aumento de fauna marinha nas zonas envolventes. Pode observar-se na figura 3 o perfilador acústico de correntes completamente coberto por um manto de mexilhão, que inviabiliza a propagação do sinal acústico na coluna de água. Para mitigar esta adversidade, implementaram-se as manutenções menores, sem recuperação da boia, com recurso a mergulho e substituição dos sensores mais afetados, nos períodos de verão. Apesar deste procedimento, os sensores de qualidade de água, clorofila, turbidez e oxigénio dissolvido, são bastante afetados pelos problemas causados pela incrustação biológica, ficando rapidamente saturados nas primeiras semanas de funcionamento. Para melhorar a qualidade destes dados e o seu tempo de vida útil, está a ser estudada a possibilidade de substituir estes sensores por outros mais fiáveis e colocá-los nos

primeiros metros da amarração, permitindo distanciá-los da turbulência da superfície que perturba algumas medições, bem como minimizar a concentração de fauna marinha em seu redor. Está ainda a estudar-se a hipótese de implementar mecanismos de limpeza ópticos que não interfiram com as medições e que tenham baixo consumo de energia.

A corrosão excessiva de alguns materiais de aço das amarrações tem sido também um dos maiores desafios que temos enfrentado, apesar da constante utilização de ânodos de zinco. Na tentativa de não combinar diferentes materiais metálicos na ligação de alguns equipamentos à amarração, inicialmente utilizaram-se peças de ligação de aço inox, mas ao longo do tempo tornou-se cada vez mais difícil a obtenção de materiais de qualidade e confiança no mercado, o que culminou em derivas das boias (fig 3) e conseqüente abandono deste tipo de materiais. Optou-se por substituí-los por aço galvanizado de alta resistência, colocando isolantes de plásticos para evitar o contacto direto com o aço inox das estruturas dos equipamentos. Esta ação revelou-se benéfica e bem-sucedida.



Fig. 3. Imagens de corrosão de materiais em aço, excesso de incrustação biológica e derivas das boias por tempestades ou intervenções humanas.

Ao longo destes cinco anos verificaram-se diversas derivas das boias, maioritariamente por intervenção humana, deliberada ou inadvertida e alguns episódios de vandalismo. Uma percentagem mínima de derivas deveu-se a fortes tempestades, afetando apenas as boias mais costeiras.

Algumas das derivas e ações de vandalismo foram ultrapassadas pela deslocação das boias para locais mais resguardados de atividades de pesca, indo assim ao encontro das necessidades das diferentes comunidades que desenvolvem a sua atividade no mar. Para diminuir a possível interferências da localização das boias com locais de pesca habituais, foram realizadas várias auscultações às comunidades piscatórias locais antes de definir os locais preferenciais de fundeamento.

A escolha de outros materiais de aço, mais especificamente a substituição do Inox por galvanizado de alta resistência, utilizando isolantes de plástico entre os materiais e reforçando os ânodos de zinco, tiveram efeito também na diminuição das derivas e perda de material devido a corrosão.

Tabela. I. Distribuição de deriva por tipo nas várias boias.

Boia	CSA 88/1		CSA 88/2		CSA 89/1		CSA 87		Total	
	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n
Derivas por ação humana ou vandalismo	67	2	67	2	80	4	50	1	69	9
Derivas por tempestade forte	0	0	0	0	0	0	50	1	8	1
Derivas por corrosão de material	33	1	33	1	20	1	0	0	23	3
<b>Total</b>		3		3		5		2	100	13

As deriva por cedência de material têm sido identificadas pela ausência ou forte corrosão dos

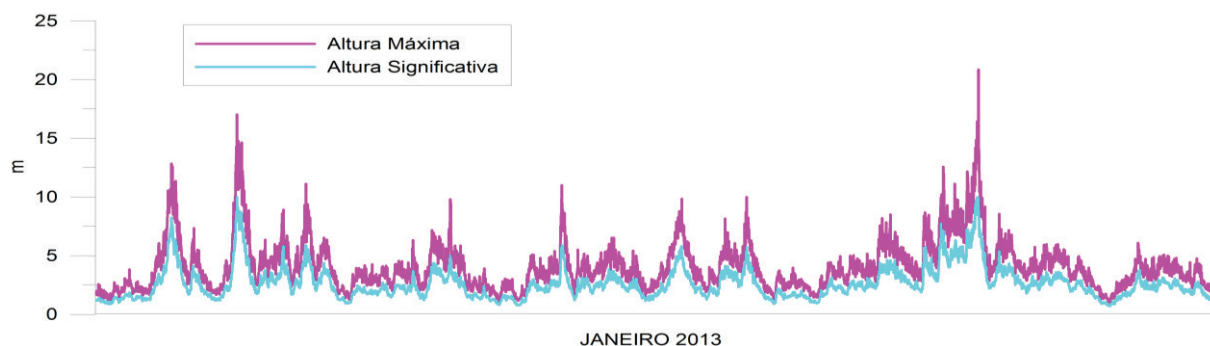


Fig. 4. Representação gráfica das alturas máxima e significativa, medidas pela boia CSA88/1 (MONICAN Oceânica) em janeiro de 2013, durante uma tempestade.

#### 4. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Na perspetiva de desenvolvimentos futuros estamos a trabalhar para alargar a rede de monitorização em tempo real, aumentando a rede de boias multiparamétricas, permitindo completar a monitorização costeira e oceânica da costa continental portuguesa. Este será um passo decisivo para concretizar o sistema de monitorização da ZEE Portuguesa (sistema MONIZEE) que integra o conjunto de redes de monitorização que o Instituto Hidrográfico atualmente opera. Numa primeira fase este sistema está focado na monitorização das condições oceânicas ao largo da costa de Portugal Continental.

Uma componente específica deste próximo passo de desenvolvimento é o módulo de fundo, projetado para a monitorização das condições junto ao fundo

componentes de ligação dos cabos da amarração. Não foram observados sinais de desgaste anormal nos cabos que culminasse em deriva da boia por quebra dos cabos da amarração.

Apesar de todos os desafios que temos experimentado ao longo destes cinco anos de experiência com estas boias, no ambiente hostil que é o Oceano Atlântico Norte (figura 4 como exemplo das tempestades norte Atlânticas de inverno), podemos afirmar que são plataformas extremamente robustas. Tal faz destas boias suportes particularmente adaptados à componente de monitorização e previsão operacional durante eventos extremos no oceano, bem como estruturas de albergue para diversos desenvolvimentos científicos e tecnológicos.

marinho, nas áreas da vertente continental ou planície abissal. Associado a uma bóia multiparamétrica e dotado de um correntómetro (equipado com sensores de turbidez, temperatura e condutividade) com transmissão acústica dos dados, este módulo irá monitorizar em tempo-real as correntes e turbidez junto ao fundo marinho, permitido por exemplo, monitorizar os eventos de elevada turbidez (“flushing events”) que ocorrem no canhão submarino da Nazaré, entre outros aspetos.

#### REFERÊNCIAS

- Soares, C. V., (2010). MONIZEE: uma resposta Portuguesa EMODNET. *Actas das 1<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, 17-20.
- Fugro - Oceanor, (2009). User manual – Wavescan buoy 4-12.

# Novas Capacidades Hidrográficas do Instituto Hidrográfico

C. Marques<sup>(1)</sup>, C. Monteiro<sup>(1)</sup>, R. Almeida<sup>(1)</sup> e J. Vicente<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Hidrográfico, videira.marques@hidrografico.pt

**Resumo:** Com a evolução tecnológica surgem constantemente novas capacidades de deteção acústica na hidrografia, obrigando os serviços hidrográficos a uma constante adaptação. O Instituto Hidrográfico, assegurando a investigação científica necessária à produção de cartas náuticas, e visando novos horizontes na exploração e conhecimento do mar, tem acompanhado esta evolução, mantendo-se sempre atualizado com os mais avançados sistemas de sondagem. Com o país estrategicamente voltado para o mar, cada vez mais é necessário garantir um conhecimento exaustivo do fundo do mar e de tudo o que no mar se encontra. Reforçando o suporte à economia do mar o Instituto Hidrográfico possui agora dois novos sistemas acústicos de sondagem, o sistema multifeixe Kongsberg EM2040C e o sistema interferométrico portátil Kongsberg GeoSwath 500 PLUS COMPACT, e também um novo perfilador da velocidade de propagação do som na água, o *motion vessel profiler* UnderwaySV da OceanScience. A presente comunicação, visa apresentar estes novos sistemas, dando a conhecer as suas principais características e benefícios.

**Palavras-chave:** Levantamentos Hidrográficos, Sondadores Interferométricos, Sondadores Multifeixe, *Geoswath*, EM2040C, SVP

## 1. INTRODUÇÃO

O Instituto Hidrográfico (IH) efetua levantamentos dos mais variados tipos, como sejam levantamentos hidrográficos (LHs), recolha de sedimentos, sonar lateral, entre outros. Os LHs nas zonas costeiras e portos têm geralmente como prioridade a segurança da navegação. O IH efetua LHs em toda a costa portuguesa e águas portuárias, não só alimentando as bases de dados de suporte à atualização das cartas náuticas, pela qual é responsável (DL 43177/1960), como também prestando o apoio necessário às autoridades portuárias, responsáveis por garantir a segurança nos respetivos portos.

Paralelamente o IH assegura ainda atividades de investigação científica relacionada com o mar, dá apoio na segurança da navegação em casos de emergência e presta suporte operacional à Marinha Portuguesa (DL 134/91).

Assegurando a aquisição dos dados hidrográficos necessários ao cumprimento da sua missão, o IH mantém em permanência as Brigadas Hidrográficas (equipas dedicadas à hidrografia) e garante uma constante atualização tecnológica, utilizando os mais avançados equipamentos de sondagem nos LHs.

O conhecimento do fundo do mar é cada vez mais um fator essencial para o desenvolvimento de um país que mantém um estreito relacionamento com o mar (Governo de Portugal, 2013). Fazendo face às suas necessidades, que se resumem em:

- recolha de dados hidrográficos (atualização cartográfica, operações de *Recognized Environmental Picture* e *Rapid Enviromental Assessment*, avaliação da segurança da navegação em desastres, naturais ou não),
- busca e deteção de objetos (segurança da navegação, situações de emergência ou acidentes, guerra de minas),

- recolha de dados para investigação científica,

O IH reforçou as suas capacidades de deteção acústica em águas pouco profundas, contando agora com dois novos sistemas de sondagem de elevada resolução, o sistema multifeixe Kongsberg EM2040C (Fig. 1) e o sistema interferométrico portátil Kongsberg Geoswath 500 Plus Compact, ambos garantindo o cumprimento dos requisitos mais restritivos para LHs com fins cartográficos definidos pela Organização Hidrográfica Internacional, a ordem especial OHI-S-44 (IHO, 2008). Complementando estes sistemas e reforçando a sua capacidade oceanográfica, conta também com o novo sistema perfilador automático da velocidade de propagação do som na água o UnderwaySV 400 da OceanScience.



Fig. 1 Sistema multifeixe EM2040C montado na embarcação de sondagem UAM 'Atlanta'

## 2. KONGSBERG EM2040C

O sistema EM2040C da Kongsberg, uma empresa Norueguesa conceituada no fabrico de sondadores acústicos, é um sistema sondador multifeixe de elevada resolução vocacionado para inspeção. Este sistema é a versão compacta e portátil do sistema EM2040, um dos sistemas multifeixe de banda larga mais recentes e com melhores resultados em águas pouco profundas. O modelo EM2040C, lançado em



2012, herda todas as características do original EM2040, sendo desenhado especificamente para cumprir com a ordem especial definida na OHI-S-44 para LHs com fins cartográficos, garantindo a resolução e a deteção de objetos necessárias.

### 2.1. Características (Kongsberg, 2013)

- O sistema apresenta as seguintes características:
- Frequência de operação: 200 a 400 kHz (10 em 10)
- Largura de feixe: 1°x1° a 400 kHz
- Comprimento de impulso: 25  $\mu$ s a 12 ms
- Taxa de transmissão: até 50 Hz
- Sondas por ping: até 400
- Estabilização: Roll (+-15°), Pitch (+-10°)
- Cobertura de swath: até 130°
- Profundidade máxima: 490m
- Dimensões: 33cm diâmetro x 12cm altura, 23 kg

Destacam-se neste sistema as seguintes características: pode transmitir utilizando impulsos CW ou FM *Chirp*; apresenta focagem no campo próximo quer na receção quer na transmissão, características até então só existentes em sistemas vocacionados para águas mais profundas.

Apresenta uma largura de feixe bastante reduzida, desde 2°x2° (200 kHz) até 1°x1° (400 kHz), um comprimento de impulso até 25  $\mu$ s, com uma resolução em distância de 18mm, recolhendo ainda dados de retrorefletividade, quer do fundo, quer na coluna de água (Fig. 2), o que permite produzir imagens do fundo e dos objetos detetados com elevada resolução (Fig. 3).

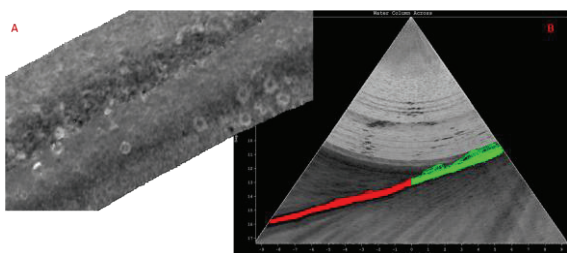


Fig. 2 Imagens da retrorefletividade no fundo (A) e na coluna de água (B)

Utiliza 256 feixes, podendo produzir até 400 sondas por ping, por exemplo, considerando a utilização de 400kHz, e 30 pings por segundo, este sistema consegue em fundos de 10m, a uma velocidade de sondagem de 6 nós, uma densidade de 200 sondas por m<sup>2</sup>, garantindo cobertura total com 45° para cada bordo de abertura de swath. Nas mesmas condições, mas considerando 300 kHz, e uma cobertura de 65° para cada bordo, obtém-se uma largura de cerca de 43m de swath, 4 vezes o fundo.

Este sistema dispõe também de um singular algoritmo de deteção de fundo que pode ser operado em 4 modos diferentes (*Normal*, *Waterway*, *Tracking* e *Min.Depth*), dependendo das características do fundo e das necessidades de

deteção, desde a normal deteção até à deteção da profundidade mínima, ou a deteção mais provável.

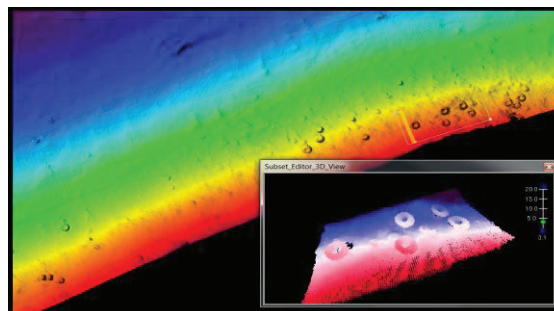


Fig. 3 Modelo batimétrico de uma área sondada para deteção de objetos (A) com o EM2040C (B) Imagem 3D da área sondada mostrando varios pneus de automóvel

### 2.2. Desempenho

Este sistema conjuga as características dos sistemas de grandes profundidades às dos sistemas de baixas profundidades num equipamento de reduzidas dimensões. Consegue-se assim um excelente sistema multifeixe para sondagem em zonas costeiras e portuárias (baixas e médias profundidades), para investigação e deteção de objetos; um sistema com elevada portabilidade, o que permite facilmente a sua montagem em quaisquer embarcações de trabalho, de grandes ou pequenas dimensões, incluindo embarcações de ocasião. As suas propriedades, como a elevada resolução, uma larga opção de frequências de utilização, curto comprimento de impulso e grande largura de banda, estabilização ativa em tempo real, maior alcance devido ao uso de FM, focagem no campo próximo, dados da coluna de água e imagem do fundo, fazem do EM2040C um dos sistemas mais adequados para o cumprimento das missões do IH, operacionais ou de investigação científica, quer na hidrografia, quer na oceanografia, quer na geologia.

Seja nas provas, seja nos LHs até agora efetuados pelo IH com este sistema, foram comprovadas as valências das suas características e a sua grande utilidade como sistema de sondagem portuária. Em testes efetuados em 2013 foi possível detetar vários objetos em fundos de 20m, como por exemplo um objeto cúbico com 0,5m de lado, um mastro com 2m de altura e 5cm de diâmetro, um pneu de automóvel e até mesmo o cabo de recolha dos objetos (2cm secção).

### 3. GEOACOUSTICS GEOSWATH 500 PLUS COMPACT

O sistema GeoSwath 500 Plus Compact (GS500+C) (Fig. 4) é também um sistema da Kongsberg, pela sua subsidiária GeoAcoustics, especializada em sistemas de imagem de fundo como os equipamentos de sonar lateral interferométricos.

Este modelo é uma versão de maior portabilidade do sistema GeoSwath Plus, permitindo assim que seja instalado em pequenas embarcações. É construído especificamente para sondagens em fundos muito baixos, aliando as vantagens de um sistema de sonar lateral, à aquisição de dados de batimetria. Com recurso à interferometria num sistema de sonar lateral, medindo diferenças de fase entre elementos, o GS500+C recolhe dados de batimetria e imagem sonar numa largura de *swath* que pode atingir as 12x a profundidade média, ultrapassando largamente as 3x dos sistemas multifeixe. Este sistema produz batimetria e imagens sonar georreferenciadas (Fig. 5), de elevada resolução, cumprindo com a ordem especial definida na OHI-S44 para LHs com fins cartográficos, garantindo a resolução e a deteção de objetos necessária em profundidades desde os 0 aos 50m.



Fig. 4 - GS500+C equipando a embarcação de sondagem Trinas, numa montagem à proa

### 3.1. Características (Kongsberg, 2014)

Este sistema apresenta as seguintes características:

- Frequência de operação: 500 kHz
- Largura de feixe: 0.5° horizontal
- Comprimento de impulso: 32  $\mu$ s a 224  $\mu$ s
- Taxa de transmissão: até 30 Hz
- Sondas por *ping*: 1.5mm resolução em profundidade
- Estabilização: *Roll, Pitch*
- Cobertura de *swath*: até 240° (*dual head*)
- Profundidade máxima: 50m
- Dimensões: 33cm x 11cm x 7,5cm altura, 17 kg

As características deste sistema demonstram a sua vocação para baixos fundos. Com uma abertura de *swath* possível de 240° o sistema consegue adquirir dados numa faixa de até 12x o fundo, o que garante uma cobertura de 60m em locais com apenas 5m de profundidade. Deste modo produção de dados do GS500+C é transversalmente à fiada 4x superior aos sistemas multifeixe, apresentando também melhores resultados de imagem sonar.

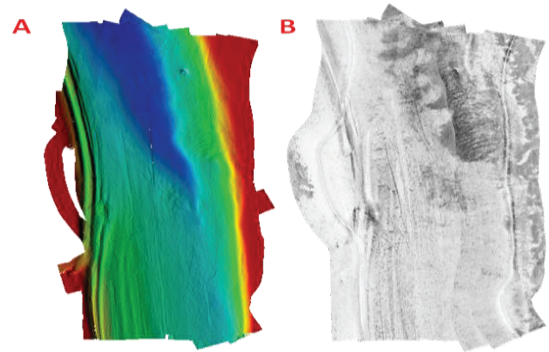


Fig. 5 - Modelo Batimétrico (A) e imagem acústica (B) obtida no canal do Barreiro com o GS500+

Em testes efetuados com este sistema verificou-se que o GS500+C consegue produzir até 4000 sondas por *ping*, e considerando que pode atingir 20 *pings* por segundo, este sistema consegue em fundos de 10m, a uma velocidade de sondagem de 6 nós, uma densidade de cerca de 111 sondas por m<sup>2</sup>, garantindo cobertura total com 85° de abertura de *swath* para cada bordo (12x a profundidade média). Sendo um sistema de sonar lateral, apresenta imagens sonar de elevada resolução, o que permite a deteção de objetos de reduzidas dimensões (Fig. 6). Nos testes efetuados no final de 2013 foi possível detetar pela imagem sonar vários objetos, incluindo um cubo de metal com 0,5m de lado, um mastro com 2m de altura e 10cm de diâmetro, e da mesma forma que no EM2040C também o cabo de recolha dos objetos.

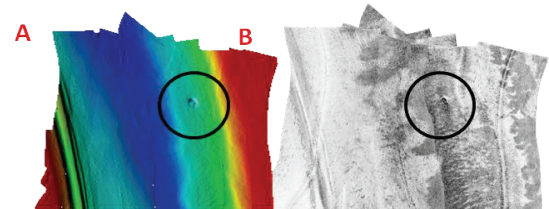


Fig. 6 - Deteção de objetos com GS500+C

### 3.2. Desempenho

Este sistema vem facilitar ao IH a aquisição de dados em profundidades muito reduzidas, assegurando a capacidade de efetuar LHs em locais onde os sistemas multifeixe se revelam pouco produtivos devido à grande proximidade do fundo. É um sistema compacto, de elevada portabilidade, que vem complementar os sistemas já existentes no IH, sendo especialmente vocacionado para uma área de trabalho onde até então apenas era produtivo utilizar sistemas de feixe simples. O facto de garantir a aquisição de batimetria e dados de sonar lateral georreferenciados, em conformidade com a ordem especial da OHI-S44, vem constituir uma grande melhoria na qualidade dos dados adquiridos, em baixas profundidades, quer na área da hidrografia quer na área da geologia.

#### 4. OCEAN SCIENCE UNDERWAYSV 400

Todos os sistemas acústicos utilizados em LHs necessitam de conhecer a velocidade de propagação do som na coluna de água para poderem efetuar com maior exatidão os cálculos da velocidade da onda acústica. Para sistemas em que o feixe acústico não é vertical, o conhecimento do perfil da velocidade do som (*Sound Velocity Profile* - SVP) ao longo da coluna de água assume extrema importância. Este perfil sofre alterações de vários tipos, variando em local e em tempo de forma irregular, o que obriga a uma constante monitorização dos dados e à frequente reaquisição de novo SVP. Num LH podem ser necessários desde um a vários perfis por período de sondagem, e regra geral, cada aquisição de um SVP demora cerca de 15min + (2 a 3seg x profundidade), obrigando ainda a parar a embarcação, ou seja cerca de 16min em fundos de 10m e cerca de 18min em fundos de 50m, tempo a acrescer ao tempo de sondagem.

Por forma a minimizar o tempo despendido na recolha de SVPs, e ainda, aumentando a quantidade de dados recolhidos, o IH possui agora o UnderwaySV 400, um sistema automático de aquisição de SVPs, produzido pela OceanScience com capacidade para atuar em profundidades dos 15 aos 400m (OceanScience, 2011).

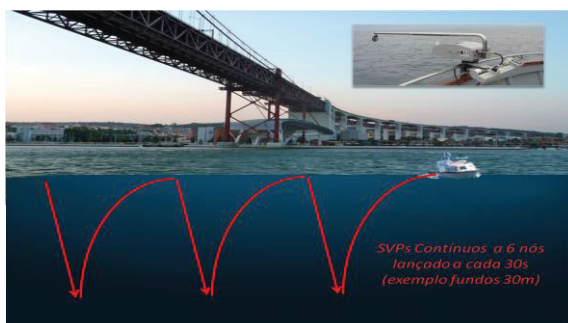


Fig. 7 - UnderwaySV 400 da OceanScience, com diagrama de funcionamento

Estes sistemas tipo ‘*Moving Vessel Profiler*’ recolhem dados enquanto a embarcação navega, não necessitando parar, transmitindo os dados utilizando tecnologia sem fios. No seu funcionamento, o sensor desce por efeito de gravidade até à profundidade definida recolhendo dados, sendo depois recuperado por um guincho controlado de forma automática. Isto permite a recolha de dados de forma quase contínua enquanto a aquisição de dados acústicos decorre, eliminando os tempos de paragem outrora necessários com o uso dos tradicionais sensores.

Nos testes já efetuados é possível verificar que os SVPs mostram grandes alterações em curtas distâncias e curtos espaços de tempo, reforçando a ideia que um sistema como o Underway SV pode ser essencial para a melhoria da qualidade na aquisição dos dados acústicos.

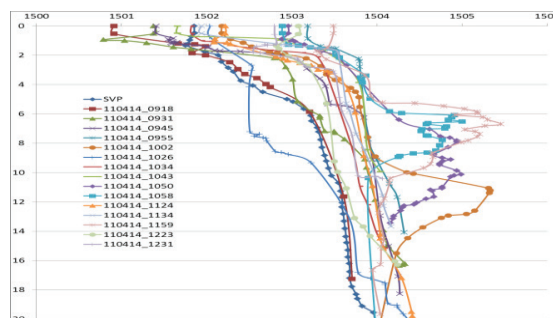


Fig. 8 Vários SVPs da coluna de água adquiridos pelo UnderwaySV400 num mesmo dia, mostrando a sua variabilidade

#### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os novos sistemas acústicos aqui anunciados apresentam características de excelência para sondagens em zonas portuárias, costeiras, e zonas de muito baixa profundidade. São sistemas de elevada resolução, que obtêm uma grande densidade de dados por área coberta. Ambos os sistemas cumprem com os requisitos mais restritivos para sondagens para efeitos cartográficos, exigidos pela OHI-S-44, apresentando notáveis qualidades de resolução e de deteção de objetos.

O novo sistema automático de aquisição de SVPs, vem por si só facilitar a aquisição de dados acústicos de melhor qualidade e aumentar ainda a quantidade de dados de SVP recolhidos em cada LH.

Com a utilização destes novos sistemas, o IH reforça as suas capacidades de aquisição de dados acústicos para investigação científica na área da hidrografia, da oceanografia e da geologia, bem como, de forma geral, a qualidade dos dados adquiridos pelos seus sistemas acústicos, alcançando uma melhor caracterização geomorfológica do fundo.

#### REFERÊNCIAS

- DL 134/91, Decreto de Lei 134/91 de 4 de Abril, *Diário da República Portuguesa*, Série I A
- DL 43177/1960, Decreto de Lei 43177/1960 de 22 de Setembro, *Diário da República Portuguesa* n°221, Série I
- Governo de Portugal, (2013). “*Estratégia Nacional para o Mar 2013-2020*”, Governo de Portugal
- Kongsberg (2014). “*GeoSwath Plus – Wide Swath Bathymetry and Georeferenced Side Scan*”, Kongsberg GeoAcoustics LTD, UK.
- Kongsberg (2013). “*EM2040C Multibeam echo sounder*”, Kongsberg Maritime AS, Horten Norway.
- IHO (2008). “*IHO Standards for Hydrographic Surveys*”, Sp. publication No. 44, 5th edition, Int. Hydrographic Organization, Monaco.
- OceanScience, (2011). “*UnderwaySV Sound Velocity Profiling from a moving vessel*”, The Ocean Science Group, Oceanside, CA



# Índice de autores

A		
Abreu, T.	207	
Almeida, R.	25,377,389	
Alves, A.	21	
Antunes, C.	33,37	
Araújo, M.	135	
Arenga, M.	65	
Ascione, I.	103	
Azevedo, E.	119	
Azevedo, R.	83	
B		
Bandeiras, J.	87	
Baptista, P.R.	139	
Baptista, R.	57,339	
Barrera, C.	347,365	
Bartolomeu, S.	155	
Basos, N.	327	
Benoit, M.	163	
Bertin, X.	151	
Borges, C.	259,267,271,275	
Boski, T.	285	
Bosnic, I.	229,289,297	
Brito, D.	263	
Brito-Azevedo, E.	347	
C		
Caçador, I.	275	
Camacho, S.	285	
Campuzano, F.	103,107,263	
Capelo, V.	61,69	
Capitão, R.	119,183	
Carapuço, M.	93,297	
Cardoso, M.A.	313	
Cardoso, R.	127,131	
Cardoso, Z.	61	
Carinhas, D.	203,271	
Carmo, P.	79,83	
Carneiro, L.	57	
Carola, J.	87	
Carrasco, A.	143	
Carvalho, A.	113	
Cascalho, J.	229,251,289,297	
Castro, A.	351	
Castro, R.	87	
Catarino, N.	87	
Conde, J.	159	
Connor, S.	285	
Correa, A.	25	
Correia, C.	347	
Costa, M.	95	
Costa, P.	95	
Craveiro, J.	119	
Cravo, A.	71,221,255,331	
Crispim, L.	45	
Cruz, I.	259,275	
Cruz, J.	1,25,49,53,65	
Currало, L.	255	
D		
da Silva, A.	355	
de Pablo, H.	103	
de Stigter, H.	225	
Dias, E.	351,355	
Dias, J.	43,155	
Didier, E.	143	
Duarte, A.	251	
Duarte, J.	229,289,297,321	
E		
Espinosa, S.	25	
F		
Fabião, J.	221	
Fernandes, R.	103,107,263	
Ferreira, A.	355	
Ferreira, F.	305,343,373	
Ferreira, J.	79,119	
Ferreira, O.	143	
Fonseca, R.	135	
Fortes, C. J.	119,147,183,187,199,335	
Fortunato, A.	151,221,313,317	
Fradique, C.	373	
Franz, G.	103	
Freire, P.	313,317	
G		
Gabriel, S.	285	
Gama, A.	247,251	
Gelado, M.	347	
Gomes, A.	285	
Gomes, R.	113	
Gómez, B.	95	
H		
Horta, J.	285	
I		
Infante, P.	271	
J		



Jacob, J.....	171,221,255,285,331	Muacho, S.....	111
Jesus, C.....	225	N	
Jorge da Silva, A.....	191	Navarro, L.....	73
Juliano, M.....	107,263	Neves, D.....	143
K		Neves, M.....	143
Kenov, I.....	263	Neves, R.....	03,107,263
L		Nunes, P.....	41,49
Lapa, N.....	305,309	O	
Leitão, P.....	103,155	Oliveira, A.....	203,225,229,247,251,281,321,339
Lemos, R.....	335	Oliveira, A (LNEC).....	313
Li, K.....	151,317	Oliveira, F.....	233,237
Liilebø, A.....	251	Oliveira, M.....	113
Lima, D.....	27,131	Oliveira, P.B.....	215
Lira, C.....	297	Ovelheiro, A.....	255
Llinas, O.....	347,365	P	
Lopes da Costa, C.....	123	Palma, C.....	243,247,251
Lopes, A.....	57,339	Pascoal, A.....	369
Lopes, E.....	119,147	Pereira, D.....	187
Lopes, J.....	167	Pereira, E.....	251
Lopes, L.G.....	187	Pereira, P.....	138,255
Lopes, V.....	351	Peres, T.....	87
Lourenço, A.....	111	Péres-Muñuzuri, V.....	95
Luis, J.....	57	Pery, P.....	73
Luis, L.....	335	Pinheiro, L.....	119
Luz, C.....	305,339	Pinto de Abreu, M.....	251
M		Pinto, J.....	195,203
Malhadas, M.....	155	Pinto, L.....	103,107,263
Mariano, A.....	29	Pires, P.....	313
Marques, C.....	21,25,53,65,377,389	Pires-Silva, A.....	163,199
Marques, J.....	351	Pólvora, C.....	247,281,305
Marques, P.....	79	Pombo, J.....	281,309
Marreiros, P.....	61	Poseiro, P.....	119,147,183,187
Martinho, A.....	175	R	
Martins, F.....	327	Radius, A.....	79,83
Martins, I.....	211,385	Ramos, A.....	199
Melo, V.....	47	Ramos, R.....	73
Michallet, H.....	207	Raposeiro, P.....	119,183
Miranda, M.....	21,49,53,65	Rego, D.....	83
Miranda, P.....	127	Reis, J.....	267
Monteiro, A.....	351	Reis, L.....	343
Monteiro, C.....	21,25,29,377,389	Reis, M.....	119,143,147,187
Morales, T.....	365	Ribeiro, M.....	289,293,297,301
Moreira, T.....	159	Ribeiro, R.....	91
Mota, P.....	99,195	Rijo, N.....	127
Mouazé, D.....	207	Rilo, A.....	317
Moura, A.....	29,49	Rocha, A.....	243,259,275
Moura, D.....	285	Rodrigues, A.....	61,281,297,301,305,309,339
Moutinho, S.....	351		

Rodrigues, A.(UNL).....119,147  
Rodrigues, J.....61,327  
Rodrigues, M.....119,151,221  
Rodrigues, N.....57  
Rosa, A.....255  
Rosa, L.....281,339,343  
Rueda, M.....347,365  
Ruiz, J.....73

## S

Sabino, A.....119,147  
Salvador, S.....351  
Sanches, P.....29,49  
Sancho, F.....179  
Santos, A.I.....203,339  
Santos, F.....381  
Santos, J.....119  
Santos, R.....343  
Saramago dos Santos, A.....57,339  
Scudelari, A.....199  
Semedo, A.....127,131  
Silva, A.....229,255,289,297,321  
Silva, C.....119  
Silva, J.....87  
Silva, L.....335  
Silva, M.....29  
Silva, P.A.....139,207  
Silva, P.F.....87  
Silva, P.....271  
Silva, R.....69  
Silva, S.....119,343,373,381  
Silveira, T.....301  
Simão, P.....351  
Simões, A.....119  
Simões, N.....171,255,331,359  
Soares, C.....91  
Soares, P.....127,131  
Szkornik, K.....285

## T

Taborda, R.....229,289,293,297,301,321,381  
Tavares, A.....313,317  
Teixeira, A.....351  
Teles, M.J.....163  
Torre, C.....275  
Trigo-Teixeira, A.....135  
Tubarão, L.....139

## V

Valença, M.....43,247,251,267,275  
van der A.....207

van Golde, I.....99  
van Rooji, D.....211  
Vandorpe, T.....211  
Veja, D.....355,365  
Venâncio, A.....95  
Vicente, J.....21,41,49,53,65,69,377,389  
Vicente, R.....175,215  
Viegas, C.....103  
Viera, J.....365  
Vitorino, J.....211,385

## W

Witkowski, A.....285

## Z

Zacarias, N.....385



# Divulgação dos Patrocinadores







KONGSBERG

# THE GLOBE

1/3 IS COVERED BY LAND - THE REST IS COVERED BY KONGSBERG

The complete multibeam echo sounder product range

**GeoSwath  
PLUS**  
200m

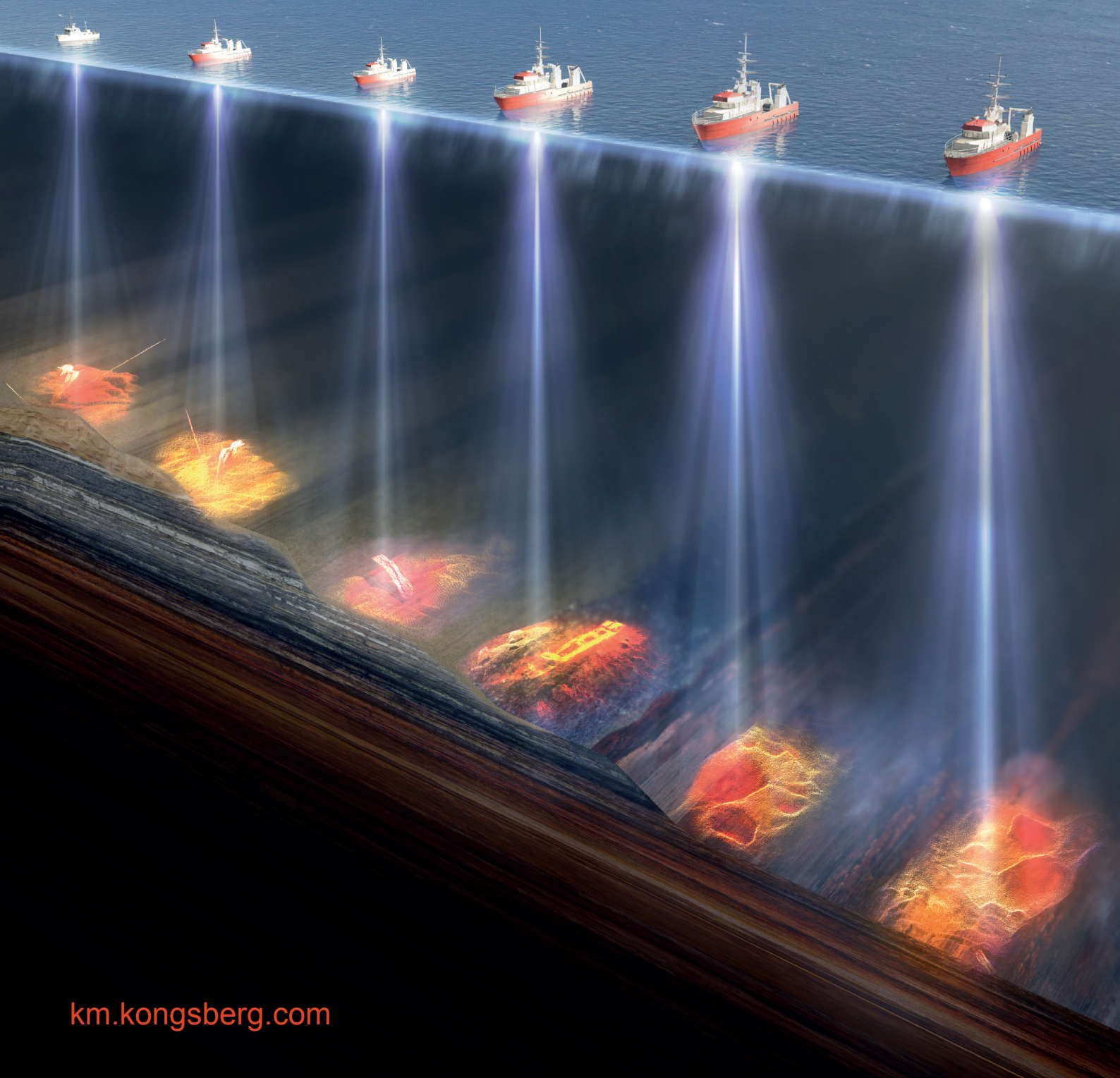
**EM 2040 C**  
500m

**EM 2040**  
600m

**EM 710**  
2000m

**EM 302**  
7000m

**EM 122**  
11000m









Instituto Hidrográfico  
Rua das Trinas, 49 - 1249-093 Lisboa - Portugal  
Tel.: +351 210 943 000 | Fax: +351 210 943 299  
mail@hidrografico.pt | www.hidrografico.pt

## PATROCINADORES

