



ANAIIS

do Instituto Hidrográfico

NÚMERO 17 • 2003-2004



ANAIS do Instituto Hidrográfico

N.º 17 • 2003-2004



MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL
MARINHA
PORTUGAL

Direcção, Redacção e Administração:

Instituto Hidrográfico
Rua das Trinas, 49 – 1249-093 Lisboa
Telef.: 210 943 000
Fax: 210 943 299
e-mail: mail@hidrografico.pt
Website: www.hidrografico.pt

Editor:

Direcção dos Serviços de Documentação
Serviço de Publicações

Comissão de Redacção:

CMG Ramos da Silva
CMG Herlander Zambujo
CMG Couto Soares
CTEN EH Mesquita Onofre
CTEN EH Bessa Pacheco
Dr.^a Aurora Bizarro
Eng.^a Pilar Pestana da Silva
Eng.^a Paula Sanches
Dr. Manuel Rocha

Os artigos assinados são da responsabilidade dos autores

© COPYRIGHT – Instituto Hidrográfico, 2005
Autorizada a transcrição
quando acompanhada da indicação do autor e origem
ISBN: 972-8486-48-0
Depósito legal: 171895/01
PUB (G)-IH 247-DD

Execução gráfica: Instituto Hidrográfico

ÍNDICE

- 4** **Nota de Abertura**
- 5** **Foreword**
- 7** **A Ria Formosa – uma visão global da química das águas e sedimentos**
Ana Cardoso, Ana Santos, Isabel Cruz
- 13** **A primeira história dos sondadores multifeixe do IH**
João Vicente, Fernando Artilheiro, António Peiriço
- 33** **Transporte sedimentar num perfil de praia. Validação de um modelo matemático**
Sérgio Laranjeiro, Filipa Oliveira, Rui Taborda, Raquel Silva
- 41** **Estimação dos Erros dos Sondadores Multifeixe**
Fernando Artilheiro, Fernando Pimentel, João Vicente
- 51** **Validação laboratorial na análise de metais**
Carla Palma, Manuel Valença
- 59** **Renovação de constantes harmónicas: critérios e procedimentos utilizados no IH**
Leonor Martins, Marina Serpa, Joana Mano Reis
- 67** **A Nova Cartografia Náutica «A Carta Digital»**
Paula Sanches, António Silva, Sousa Prelhaz, Martins Pinheiro, Mesquita Chin, Leonor Veiga
- 79** **Determinação do vector velocidade a partir de observações doppler GPPS**
João Paulo Ramalho Marreiros, João Vitorino, Luís Quaresma dos Santos
- 87** **Produção e actualização de cartas electrónicas de navegação**
Antonieta José, Helena Julião, Isabel Fortes, Isabel Pais da Silva, Martins Pinheiro
- 97** **Os Laboratórios de Estado e a actual política I&D**
Raquel Poucochinho

Nota de Abertura

COM a publicação de mais este número dos ANAIS, prossegue-se a divulgação dos temas mais estudados no Instituto Hidrográfico com ênfase para a Hidrografia, a Oceanografia, a Navegação, a Geologia Marinha, e a Química e Poluição, áreas temáticas decorrentes das atribuições enquanto organismo da Marinha e Laboratório do Estado.

Numa época em que a informação é cada vez mais importante para a formação do conhecimento, a divulgação do que as instituições e os seus investigadores vão fazendo é indispensável e estes ANAIS são sem dúvida um bom contributo.

Neste exemplar é divulgado um conjunto de dez artigos que abordam, com qualidade, temas de interesse, como sejam a renovação das constantes harmónicas, os estudos laboratoriais de metais, a monitorização da Ria Formosa, a simulação do transporte sedimentar num local da costa Portuguesa, a estimação dos erros do multifeixe, a primeira história das sondagens a multifeixe no IH, a carta digital e os Laboratórios do Estado.

Desta forma, os ANAIS pretendem contribuir para um melhor conhecimento das actividades do Instituto Hidrográfico que se inserem no quadro da investigação científica e tecnológica dos oceanos, sendo um importante veículo de divulgação dos conhecimentos que lhes estão associados.

Através desta publicação, a comunidade científica fica assim seguramente mais familiarizada com o trabalho científico e tecnológico desenvolvido na Marinha, através do Instituto Hidrográfico, e que, pelo valor social e económico de que se reveste, será certamente reconhecido como de interesse nacional.

Os autores dos artigos e os membros da Comissão de Redacção dos Anais, como já vem sendo hábito, apesar da escassez de tempo disponível e em esforço acrescido à actividade já tão sobrecarregada do dia a dia, viabilizaram, uma vez mais, com a sua dedicação, a edição de uma publicação de qualidade, em que o rigor e o valor técnico emprestado aos trabalhos aí publicados, são merecedores de todo o nosso apreço.

O Director Geral,



Carlos Alberto Viegas

Vice-almirante

Foreword

WITH the publication of this number of the ANAIS, there is continuity to divulge the most treated themes in the Hydrographic Institute, with emphasis for the hydrography, oceanography, navigation, marine geology, chemistry and pollution, as a result of its duties as a State laboratory and as an institute of the Navy.

At a time where information is even more important for the human knowledge, publishing the work done by the institutions and their researchers is indispensable and the ANAIS are obviously a good contribution.

This edition carries a set of ten articles dedicated to technical and scientific production, addressing with great quality issues of interest such as the renewal of the harmonic constants, the laboratorial metal studies, the Ria Formosa monitoring, the simulation of the sedimentary transport in a place of the Portuguese coast, the estimation of the multibeam errors, the first history of the soundings with multibeam in the IH, the digital chart and the Laboratories of the State.

The ANAIS intend to contribute for a better knowledge of the activities in the Hydrographic Institute in the oceanic research, being an important vehicle of information and knowledge.

With this publication, the scientific community is thus surely more familiar about the scientific and technological work in the Navy, carried by the Hydrographic Institute, and it will be certainly recognized as of national interest, either socially or economical.

In addition to their demanding technical and scientific activities at the Institute, the authors of the articles and the members of the ANAIS editorial committee have once again been able, through their efforts and dedication, to produce yet another edition, for which they warrant out esteem.

The Director General,



Carlos Alberto Viegas

Vice-Admiral

Ria Formosa – Uma visão global da química das águas e dos sedimentos (1999-2003)

Ana Cardoso, TÉCNICO SUPERIOR PRINCIPAL
Ana Santos, TÉCNICO SUPERIOR DE 1.ª CLASSE
Isabel Cruz, SEGUNDO-TENENTE

Resumo A vigilância contínua do ambiente marinho permite detectar e apreciar a evolução de tendências e padrões no seu estado de qualidade. O projecto «POLFARO – Monitorização da Poluição na Ria Formosa» do Instituto Hidrográfico, tem contribuído para o conhecimento deste sistema onde os efeitos da pressão humana se fazem sentir. No âmbito do projecto, os locais de amostragem foram planeados de modo a comparar do ponto de vista químico, zonas de influência fluvial, urbana, agrícola e industrial com uma zona de referência oceânica. Os resultados obtidos no período de 1999 a 2003 são interpretados e permitem uma visão global da Ria relativamente à distribuição espaço-temporal de variáveis como nutrientes, metais pesados e compostos orgânicos poluentes, em água e sedimento.

Abstract Continuous marine environmental monitoring allows the detection and the evaluation of spatio-temporal patterns evaluation. The «POLFARO – Pollution Monitoring of Ria Formosa» project, undertaken by Instituto Hidrográfico, has contributed to the understanding of this system, where the human pressure effects exists. Sampling sites were strategically planned in order to compare areas with fluvial, urban, agriculture and industrial interferences with an oceanic sampling reference site. Data collected between 1999 and 2003 are discussed, in order to give a global scenario of spatio-temporal distribution of variables as nutrients, trace metals and organic compounds in water and sediment from Ria Formosa.

Introdução

Para além dos recursos naturais, estéticos e recreativos a ria Formosa é altamente produtiva devido às concentrações de nutrientes e condições de isolamento de determinadas zonas, assim como devido à boa homogeneização da coluna de água por efeito de maré. Esta produtividade deu origem ao desenvolvimento da indústria piscatória e de maricultura, de elevada importância económica nacional (MUDGE & BEBIANNO, 1997).

Nas margens da laguna situam-se três centros populacionais importantes. Em Faro, Olhão e Tavira a população residente foi estimada em 100 000 habitantes aumentando para o triplo na época alta (FALCÃO, 1996). As descargas afluentes à Ria são de origem doméstica e industrial, resultantes de escorrências agrícolas e rodoviárias, portos, marinas e aquacultura (MUDGE & BEBIANNO, 1997). O sistema de saneamento conta com duas ETARs em Faro (com um caudal doméstico total de 13000 m³/dia), duas ETARs em Olhão (com um caudal misto total de 5500 m³/dia) e uma ETAR em Tavira (com um caudal doméstico de 6000 m³/dia). Todas as ETARs têm no tratamento final lagoas de maturação que envolvem a desinfecção e remoção de nutrientes (CRAVO *et al.*, s.d.).

Os usos da Ria tal como descrito, associados à navegabilidade de alguns dos seus canais, têm potencializado a pressão humana local com o conseqüente aumento da vulnerabilidade às agressões e degradação ambiental. Neste sentido, o Instituto Hidrográfico, através do projecto «POLFARO – Monitorização da Poluição na ria Formosa» inserido no programa «VQM – Vigilância da Qualidade do Meio Marinho», tem contribuído para um melhor conhecimento da Ria Formosa. Neste estudo, os dados do projecto POLFARO referentes ao período de 1999 a 2003 foram analisados para permitir uma visão global da química das águas e dos sedimentos da Ria.

Periodicidade da amostragem e variáveis de estudo

Na Figura 1 pode observar-se a posição dos locais de amostragem (doravante designados pelo número respectivo, precedido pelo símbolo «#») que foi efectuada em situação de vazante. As amostragens de água foram realizadas trimestralmente em 1999 e 2000 e semestralmente de 2001 a 2003. A periodicidade da amostragem de sedimentos foi anual de 1999 a 2001 e semestral em 2002 e 2003. As amostras foram analisadas



Figura 1 – Locais de amostragem na ria Formosa

nas variáveis temperatura, pH, oxigénio dissolvido, salinidade, nutrientes, clorofila *a*, sólidos suspensos totais, matéria orgânica, granulometria, carbono orgânico total, hidrocarbonetos e orgânicos extractáveis, metais pesados, pesticidas organoclorados e policlorobifenilos (PCBs).

Análise de tendências espacio-temporais de variáveis físico-químicas (1999-2003)

De acordo com as características mediterrâneas da região onde se insere, a distribuição das temperaturas das águas da ria Formosa apresentou a sazonalidade típica, com média de 18,4°C no período de 1999 a 2003.

A elevada amplitude de maré, de tipo semi-diurno, e as características fisiográficas da região favorecem a renovação da massa de água residente em cada ciclo de maré. A Ria apresenta, pois, características químicas semelhantes às da faixa litoral exterior, com predomínio de água salgada em detrimento da água doce cujos contributos, à excepção do rio Gilão em Tavira, não são significativos (MELO, 1989; FALCÃO, 1996; CARNEIRO *et al.*, 1998). De facto, os valores de salinidade variaram entre 21,546 ‰ e 37,279 ‰, ocorrendo os mínimos em Tavira (#9), tal como esperado. Também neste local se registaram os teores mais elevados de sólidos suspensos totais, provavelmente associados ao aporte fluvial.

A análise da percentagem de saturação em oxigénio baseou-se na relação percentual entre a quantidade de oxigénio dissolvido encontrada numa amostra de água e o valor de saturação teórico a uma dada temperatura e salinidade. A percentagem de saturação em oxigénio ao longo da Ria foi homogénea, com média de 96 % no período observado.

Os estados de sub e sobressaturação em oxigénio são induzidos por fenómenos físico-químicos, químicos e biológicos (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983). A ocorrência de mínimos poderá dever-se à influência urbana de Faro

e Olhão mas também à influência atmosférica, em particular no Verão, que pode dificultar a difusão do oxigénio na massa de água. A ocorrência de máximos na praia da Fuzeta (#8) nos meses de Maio e Julho poderá estar associada quer à produtividade primária quer novamente às condições atmosféricas de particular arejamento e boa troca na interface atmosfera-água.

A importância da biodisponibilidade de nutrientes para a produção primária é inquestionável. Em concentrações normais, os nitratos,

nitritos, azoto amoniacal, fosfatos e sílica são a base do desenvolvimento da vida aquática (PILSON, 1998). No entanto, sob condições adversas, nomeadamente poluição antropogénica, as suas concentrações tendem a aumentar sendo por isso considerados bons indicadores da qualidade da água

O perfil da distribuição espacio-temporal dos teores médios de azoto inorgânico – somatório das formas nitrito, nitrato e amónia – pode ser observado na Figura 2-B. A ocorrência de episódios com picos de concentração foi registada na zona exterior de acesso à barra de Faro-Olhão e na praia da Fuzeta (#3 e #8) em meses de Inverno em que é característica a acumulação de nutrientes para a produção primária (Figura 2-A). Em Tavira (#9), também ocorreu um máximo de concentração que poderá estar associado ao contributo fluvial do rio Gilão. A este serão também devidos os teores mais elevados de sílica registados neste local.

A presença significativa de azoto orgânico dissolvido em determinadas zonas reflecte essencialmente o tipo de escorrências urbanas (FALCÃO, 1996). A determinação do azoto orgânico foi efectuada por diferença entre o azoto total e o azoto inorgânico e constituiu a maior percentagem relativamente ao azoto total. Apesar do padrão resultante para o azoto orgânico dissolvido acompanhar o padrão das outras formas azotadas, verificou-se de facto que os teores mais elevados podem reflectir a proximidade dos núcleos de Olhão, Tavira e Faro (#1, #9 e #10).

A análise das formas fosforadas dissolvidas foi também efectuada à semelhança do exemplo anterior. As fontes de fósforo inorgânico dissolvido podem ser de origem fluvial, pluvial ou urbana sendo de interesse a sua determinação através do ião fosfato. Como se pode observar pela Figura 3-A, o fósforo apresentou de um modo sistemático níveis mais elevados em Olhão (#1) provavelmente devido à influência da ETAR. Em Tavira (#9), e no período de Inverno, registaram-se igualmente

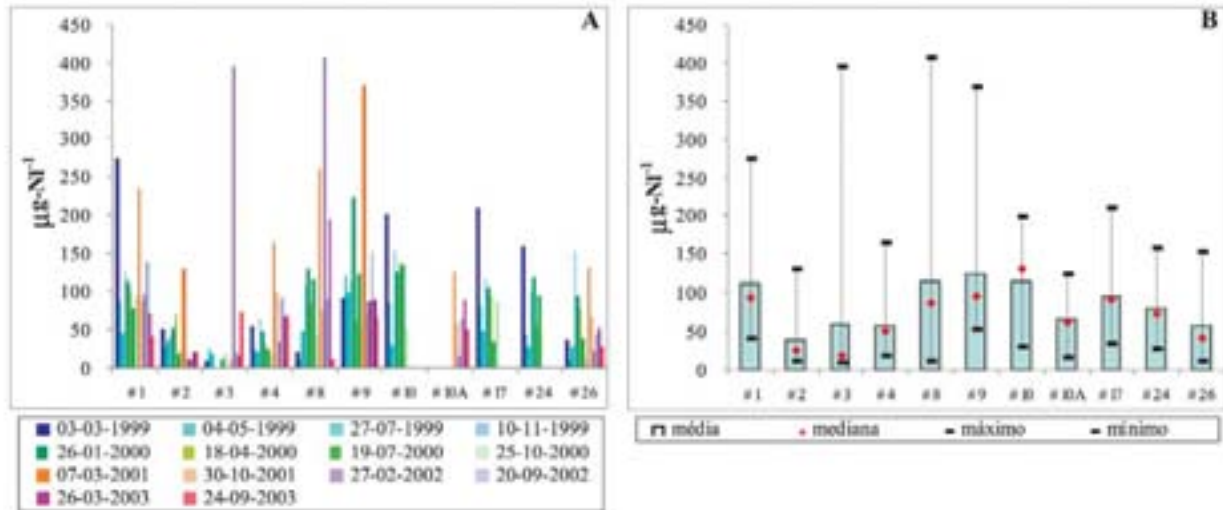


Figura 2 – Azoto inorgânico dissolvido.

A – Concentrações temporais; B – Concentrações médias

teores mais elevados, agora reflexo provável do contributo dos cursos de água doce da bacia hidrográfica envolvente. As zonas de acesso interior e exterior à barra de Faro-Olhão (#2 e #3) sofrem pequena perturbação e funcionam na amostragem como locais de referência. Tal como esperado, apresentaram baixos teores médios (Figura 3-B).

Em águas superficiais o fósforo orgânico pode representar mais de metade da fracção total dissolvida (Pilson, 1998). O fósforo orgânico foi também obtido por diferença entre os teores dissolvidos, total e inorgânico. Os teores foram consistentes ao longo de toda a Ria tendo-se calculado um pico de concentração em Julho de 1999 (#1). A proximidade deste local à cidade de Olhão, aliada ao aumento da densidade populacional característica daquela época, poderá reflectir este valor o que está em acordo com as estimativas efectuadas por Falcão (1996) em que o fósforo orgânico dissolvido pode reflectir mais significativamente os aportes urbanos.

A presença de metais no ambiente é consequência inevitável da sua ocorrência natural na crosta terrestre e desempenha um papel essencial nos processos bioquímicos. Em águas costeiras e estuarinas, o padrão de distribuição de metais dissolvidos reflecte os *inputs* fluviais e antropogénicos e o grau de interacção com a matéria em suspensão (OSPAR Commission, 2000).

Na ria Formosa os teores de cádmio, cobre e mercúrio não apresentaram variações significativas ao longo do período em estudo, situando-se frequentemente ao nível do limite de quantificação. Pela análise da Figura 4 verificou-se que os teores médios de zinco ultrapassaram frequentemente o limite superior de $5 \mu\text{g l}^{-1}$ estabelecido como Critério de Avaliação Ecotoxicológica (CAE), definido pela OSPAR para este metal. Os CAE para metais em águas oceánicas definem níveis aproximados de concentração abaixo dos quais o potencial de efeitos adversos é mínimo (OSPAR Commission 2000). Com uma aplicação cuidada e ajustada a cada sistema

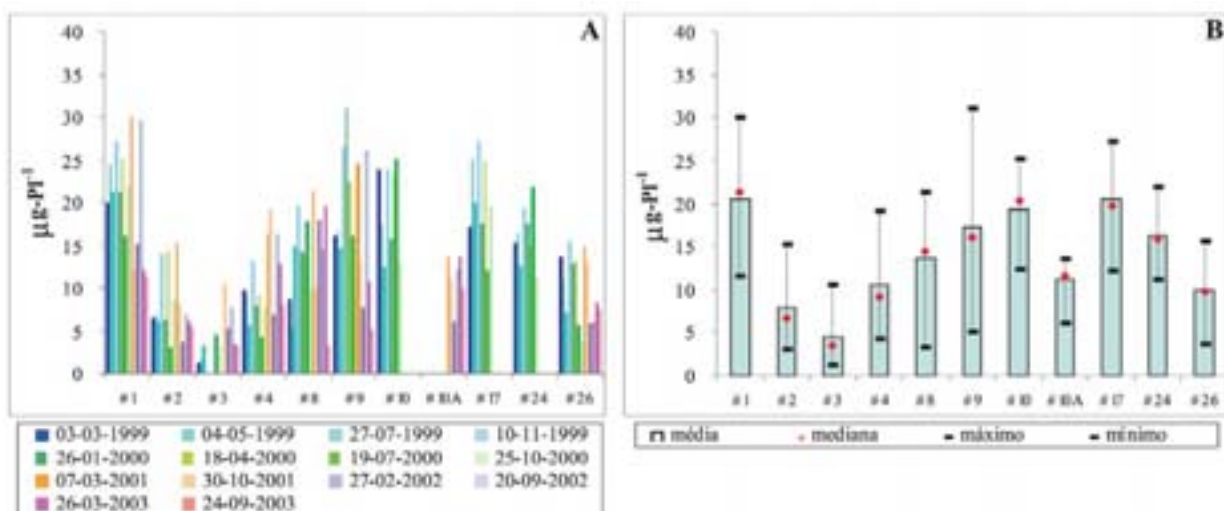


Figura 3 – Fósforo inorgânico dissolvido em águas superficiais.

A – Concentrações temporais; B – Concentrações médias

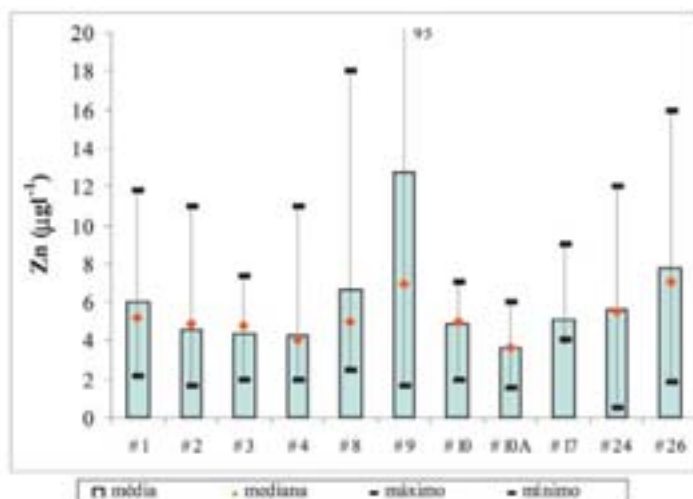


Figura 4 – Concentrações médias de Zinco em águas superficiais

poderão funcionar como valores indicativos, tal como se efectuou. Os teores de chumbo registados foram baixos, situando-se a média global do período 1999 a 2003 ao nível de $0,5 \mu\text{g l}^{-1}$, considerado pela OSPAR como o limite inferior do CAE para este metal. Os valores pontualmente mais elevados estarão associados a uma maior deposição atmosférica, em particular nos meses de maior pluviosidade.

Tal como no caso anterior, a OSPAR também definiu critérios próprios para sedimentos. Assim, apenas para os metais cobre e chumbo o limite superior de $50 \mu\text{g kg}^{-1}$, estabelecido como CAE para estes metais, foi excedido pontualmente em Olhão e Tavira (#1 e #9), como se pode observar nas Figuras 5 e 6. Estes locais, para além de receberem a influência urbana, caracterizaram-se, do ponto de vista granulométrico, por sedimentos com teores de finos mais significativos, classificando-se de acordo com Shepard como areia siltosa (Figura 7). Tal como a matéria orgânica, também os metais têm capacidade de adsorção à fracção fina ocorrendo normalmente com maior expressão onde aquela é mais

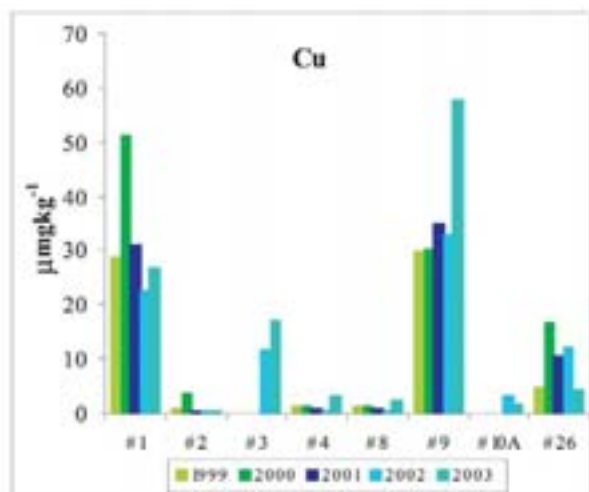


Figura 5 – Concentrações de cobre em sedimentos superficiais

significativa. De facto, os locais referidos (#1 e #9) apresentaram teores mais elevados de de cobre e chumbo tal como crómio, zinco, mercúrio, manganês, lítio e níquel.

O Anexo do Despacho Conjunto do Ministério do Ambiente e Recursos Naturais e do Ministério do Mar de 21 de Junho de 1995, efectua a classificação de materiais dragados de acordo com o seu grau de contaminação em metais e compostos orgânicos, determinante para a definição das regras técnicas a que deverão obedecer a imersão desses materiais. Não sendo esta uma medida indicada para estudos de monitorização química em sedimentos, onde não estão em causa operações de dragagem, a classificação dos sedimentos presente naquele Despacho torna-se relevante pois permite ter uma ideia do grau de contaminação existente, definindo também gamas de concentração inócuas para o ambiente. A aplicação desta legislação permitiu classificar os sedimentos da ria Formosa como «Material dragado limpo – Classe 1»*, à excepção de Olhão (#1) e Tavira (#9), onde já se encontraram teores classificados como «Material dragado com contaminação vestigiária – Classe 2»**.

A poluição por hidrocarbonetos e os seus efeitos físicos, químicos e biológicos são consequências inevitáveis do transporte e uso de petróleos e produtos petrolíferos. Quando introduzidos no ambiente aquático apenas uma pequena fracção solubiliza, ligando-se a fracção maioritária fortemente à matéria em suspensão que, através da sedimentação, contribui para a acumulação de óleos em sedimento. Também os pesticidas organoclorados e os PCBs apresentam solubilidades

* «Material Dragado Limpo – Classe 1» – pode ser depositado no meio aquático ou reposto em locais sujeitos a erosão ou utilizado para alimentação de praias sem normas restritivas (Despacho conjunto n.º 141/95).

** «Material Dragado com contaminação vestigiária – Classe 2» – pode ser imerso no meio aquático tendo atenção as características do meio receptor e o uso legítimo do mesmo (Despacho conjunto n.º 141/95).

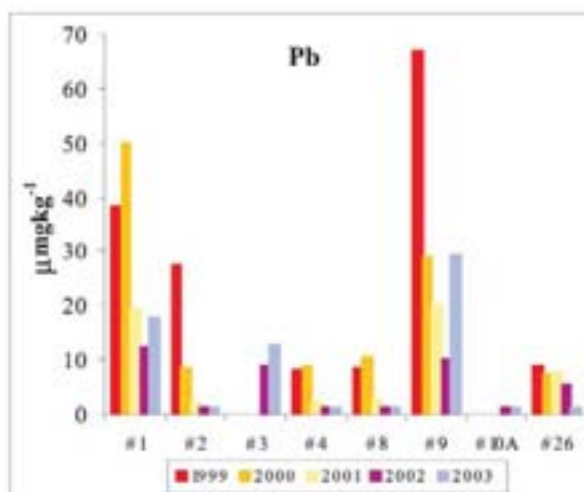


Figura 6 – Concentrações de chumbo em sedimentos superficiais

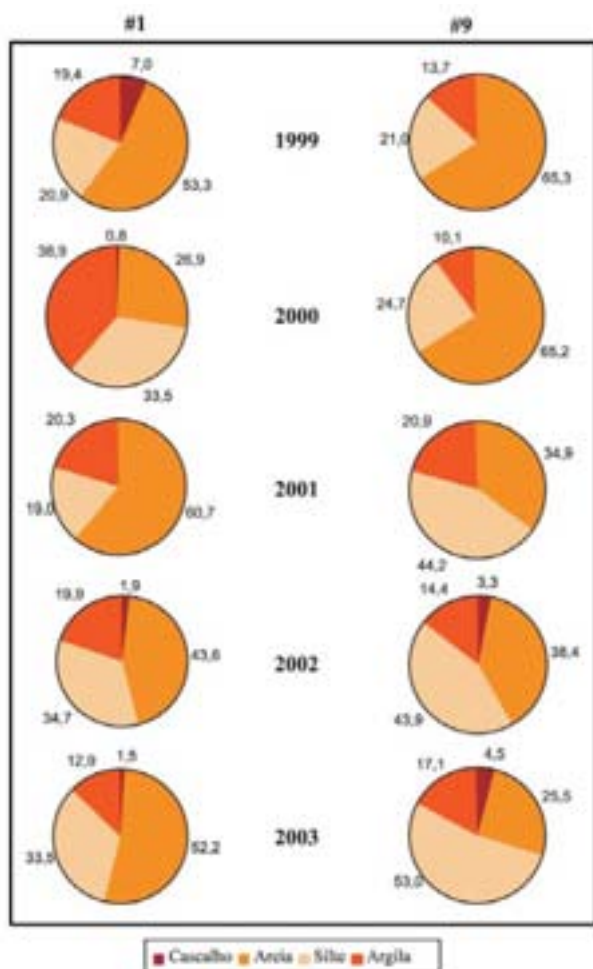


Figura 7 – Caracterização granulométrica dos sedimentos de Olhão (#1) e de Tavira (#9)

reduzidas em água e elevada capacidade de adsorção em sedimento e matéria particulada em suspensão. São compostos de elevada estabilidade, persistência e acumulação no ambiente (SMEDES & DE BOER, 1997). Tal como os hidrocarbonetos e metais vestigiários, a sua dispersão seguirá a das partículas a que se associam directamente, dependente de factores naturais e físico-químicos.

Ao longo da Ria os teores em hidrocarbonetos apolares e orgânicos extractáveis em águas situaram-se ao nível do limite de quantificação, possivelmente devido à forte homogeneização do sistema por acção da força dispersiva da maré. Já em sedimento verificaram-se novamente teores mais elevados de hidrocarbonetos em Olhão (#1) e Tavira (#9), tal como no caso dos metais. Os níveis de PCBs e pesticidas organoclorados em águas não ultrapassaram os limites de quantificação em Faro (#10 e #10A) e em Olhão (#1). Nestes locais o pesticida lindano (γ -HCH) apresentou valores ligeiramente mais elevados, possivelmente devido à provável ressuspensão de sedimento na coluna de água que poderá funcionar como fonte de contaminação, uma vez que este composto tem tendência a acumular por adsorção nos sedimentos de fundo. A análise de γ -HCH em sedimentos superficiais revelou teores mais eleva-

dos em Olhão e Tavira, tal como anteriormente. Os sedimentos amostrados no canal de Olhão apresentaram teores mais elevados de PCBs do que os sedimentos da zona de Tavira, provavelmente devido à influência industrial de Olhão. A situação inverteu-se relativamente aos isómeros e metabolitos de DDT, agora com maior expressão em Tavira associados possivelmente à influência fluvial.

Considerações Finais

Apesar da elevada amplitude de maré e das características fisiográficas da ria Formosa, os resultados da aplicação de um modelo de advecção – difusão do tipo Lagrangeano por NEVES & MARTINS (s.d.), que considera a corrente de deriva litoral associada ao vento e circulação oceânica, mostram maior eficiência do processo de renovação da água nas zonas de influência das barras do sotavento, em particular a barra de Olhão. De acordo com o modelo, as zonas internas junto aos núcleos urbanos de Faro e Olhão apresentam menores taxas de renovação que condicionam provavelmente as características dos sedimentos e os níveis locais das concentrações das variáveis químicas determinadas. De facto, foram mais significativas as concentrações em Tavira (#9), Faro (#10) e em particular Olhão (#1) quer nas águas quer nos sedimentos, sendo estes caracterizados por maior percentagem de finos e portanto maior afinidade para adsorção de poluentes, como aconteceu pontualmente para o caso do cobre, chumbo e compostos organoclorados.

De acordo com DRA-Algarve & INAG (2000), o aumento de poluentes de origem urbana como sólidos suspensos totais, fósforo total e azoto total devido à época alta, está situado em cerca de 43%. Tendo em conta que esta época corresponde a cerca de quatro meses é importante salientar que esta representa um pico de poluição urbana. De facto, as concentrações mais elevadas de azoto e fósforo orgânico ocorreram em Olhão (#1) e Faro (#10), tal como esperado de acordo com Falcão (1996), que considerou cargas significativamente superiores das formas orgânicas destes compostos por efeito dos efluentes urbanos.

O estudo efectuado pelo Instituto Hidrográfico revelou que na ria Formosa nutrientes como o fósforo e o azoto, metais pesados, pesticidas, PCBs e hidrocarbonetos situaram-se em níveis baixos e característicos de um sistema lagunar hidrodinâmico e de variação tidal significativa, apesar da conhecida existência de perturbações ao nível da qualidade da água devido às ETARs. De facto, as conclusões de um estudo de avaliação do efeito das descargas de águas residuais urbanas na ria Formosa (CRAVO *et al.*, s.d.) revelaram que as áreas significativamente afectadas pelas ETARs localizaram-se até

300 a 400 m dos pontos de descarga, não sendo esperadas perturbações significativas fora deste raio.

A gestão de um recurso tão importante como a ria Formosa envolve interesses políticos, públicos e privados tão diversos como o próprio ecossistema. Um problema maior prende-se com a existência de viveiros, de alto valor sócio-económico (cerca de 80 a 90% da produção nacional de bivalves), e com a contaminação dos bivalves quer por microorganismos patogénicos, quer por contaminação fecal associada às descargas de efluentes (CRAVO *et al.*, s.d.). É neste sentido que os projectos de monitorização, ainda que com um valor limitado, apresentam sem dúvida um contributo essencial para o estabelecimento de objectivos comuns com vista ao desenvolvimento de novas regulamentações que poderão ajudar a assegurar que todos os interessados adoptem ou venham a adoptar as acções apropriadas para proteger e magnificar os recursos da Ria.

Referências Bibliográficas

- AMINOT, A. & M. CHAUSSEPIED (1983). *Manuel des Analyses Chimiques en Milieu Marin*. – Centre National pour L'Exploitation des Océans. Brest. 395 pp.
- CRAVO, A., REIS, M. P., FERNANDES, D., PAULINO, A., RITA, F., BRITO, A. (s.d.). *Impacto da descarga de Águas Residuais Urbanas no Sistema Lagunar da Ria Formosa 5/2001-12/2002*. Universidade do Algarve [Em linha] URL: http://www.dra-alg.min-amb.pt/pages/areastematicas/recursoshidricos/ria_formosa_impacte_pdf
- Despacho conjunto n.º 141/95, de 21 de Junho.
- DRA-ALGARVE, INAG (2000). *Plano da Bacia Hidrográfica das Bacias do Algarve. 1.ª Fase. Análise de Diagnóstico da Situação de Referência. Vol. III – Análise. Cap. 2. Análise Sistémica. Parte C. Subsistema Ambiental*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. [Em linha] URL: dra-alg.min-amb.pt/plano_bacia/cdrom/Fase_I/volume_III/parte_c.pdf
- FALCÃO, M. (1996). *Dinâmica dos Nutrientes na Ria Formosa: Efeitos da Interação da Laguna com as Suas Interfaces na Reciclagem do Azoto, Fósforo e Sílica*. Dissertação para Acesso à Categoria de Investigador Auxiliar. Instituto Português de Investigação Marítima. 223 pp.
- MELO, J.L. (1989). *Caracterização Hidro-Oceanográfica da Ria Formosa*. Anais do Instituto Hidrográfico. n.º 10: 7-23.
- MUDGE, S. M. & M. J. BEBIANNO (1997). *Sewage contamination following an accidental spillage in the Ria Formosa, Portugal*. Marine Pollution Bulletin. vol. 34. n.º 3: 163-170
- NEVES, R. J. J. & F. A. MARTINS (s.d.). *Modelação Lagrangeana dos Processos de Transporte da Ria Formosa* URL: [Em linha] www.ualg.pt/est/adem/docentes/fmartins/flavio/artigqualamb.htm
- OSPAR COMMISSION (2000). *Quality Status Report 2000*. OSPAR Commission, London. 108+vii pp.
- PILSON, M. E. Q. (1998). *An Introduction to the Chemistry of the Sea*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. 431 pp.
- SMEDES, F., DE BOER, J. (1997). *Determination of Chlorobiphenyls in Sediments – Analytical Methods*. Trends in Analytical Chemistry. vol. 16, n.º 9: 503-517

A primeira história dos sondadores multifeixe do IH

João Vicente, PRIMEIRO-TENENTE

Fernando Artilheiro, CAPITÃO-TENENTE

António Peirço, PRIMEIRO-TENENTE

Palavras-chave: Sondador, multifeixe, hidrografia

Resumo Actualmente, é possível conhecer o relevo do solo marinho com elevada resolução. Este facto é uma mais valia científica, ambiental e económica.

A hidrografia é a ciência e a arte que possibilita o estudo daquela realidade. Os sondadores multifeixe são o engenho preferencial dos hidrógrafos no conhecimento quase real do relevo submarino. Aliás, o termo sondagem perde o seu verdadeiro significado quando falamos de levantamentos com multifeixe.

Em 1991, escrevia-se nos Anais do Instituto Hidrográfico (IH) o primeiro artigo publicado em Portugal sobre a tecnologia multifeixe. No ano de 1995, o IH adquiria o primeiro sondador multifeixe. Desde então, e passados nove anos, importa efectuar um balanço da utilização pelo IH daquele tipo de sistemas. Importa saber os sistemas em utilização, enumerar os trabalhos efectuados, as dificuldades encontradas, as diferentes áreas de trabalho e mostrar alguns dos produtos finais. Estes são alguns dos objectivos deste artigo, não esquecendo a importância dos dados adquiridos nem as componentes histórica e humana.

Este artigo tem como principal objectivo relatar a implementação dos sondadores multifeixe no IH.

Abstract *These days, it is possible to know the seafloor topography with high resolution. This is a scientific, environmental and economic added value.*

Hydrography is the science and art which allows the study of seafloor topography. The knowledge of seafloor relief is obtained preferably with multibeam echo sounders.

In 1991, it was written in the Anais do Instituto Hidrográfico (IH) the first article, published in Portugal, about multibeam technology. In 1995, the IH purchased its first multibeam echo sounder. After nine years, it is worthwhile to portray what happened ever since. Though, it is important to know the systems in use, the work carried out, the different applications, the final products and the difficulties felt throughout those years. These are some of the objects of this paper, bearing in mind the importance of the collected data, the historical and human components.

The main goal of this paper is to address the implementation of multibeam echo sounders at the IH.

1. Introdução

Actualmente, existe uma enorme diversidade de sistemas e equipamentos associados que permitem o estudo do fundo marinho. No entanto, são os sondadores acústicos que, qualitativamente, permitem a obtenção de dados de profundidade de elevada exactidão e são utilizados largamente por todos os serviços hidrográficos. Destes, destacam-se os sondadores de feixe simples (SFS) existentes há muitos anos e, mais recentemente, o desenvolvimento dos sondadores multifeixe (SMF).

Os SFS na determinação da profundidade efectuem a medição do intervalo de tempo entre a transmissão de um sinal acústico e a subsequente recepção do seu eco, tendo por base o conhecimento da velocidade média de propagação do som na água. Estes sondadores permitem

a aquisição em contínuo do perfil de profundidades sob a vertical do transdutor.

Os SMF utilizam um princípio idêntico para efectuar a determinação de profundidades ao longo de uma faixa do fundo, obedecendo a alguns requisitos fundamentais como, por exemplo, o conhecimento do perfil da velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água e da atitude da embarcação (balanço/*roll*, cabeceio/*pitch* e arfagem/*heave*). Assim, é possível a obtenção de vários perfis de profundidade simultaneamente. De facto, devido aos vários equipamentos associados ao sondador multifeixe muitos autores denominam este método de sondagem como sistema sondador multifeixe (SSMF).

Como referido por alguns autores, em hidrografia o salto qualitativo e quantitativo destes sondadores é, no mínimo, semelhante ao da passagem da sondagem a

prumo para a sondagem com sondadores acústicos, modificando o presente e o futuro da hidrografia.

Estes sistemas, pela sua potencialidade de cobertura total do fundo e uma elevada densidade de dados, permitem a construção de modelos digitais de terreno de elevada resolução. Permitem ainda a obtenção de uma imagem acústica, quer para identificação de diferentes tipos de sedimentos superficiais, quer para confrontação com a imagem batimétrica, para controlo da qualidade.

Na realidade, a densidade de informação batimétrica recolhida é de tal forma elevada que o termo sondagem perde o seu verdadeiro significado, podendo-se mesmo afirmar que os levantamentos hidrográficos a multifeixe permitem, em baixas profundidades, a criação de modelos digitais de terreno que reproduzem de forma fiel o fundo submarino.

As grandes potencialidades dos sondadores multifeixe associadas à sua grande complexidade de integração de sensores obrigam a que os operadores possuam elevadas qualificações.

Vantagens e desvantagens dos sondadores multifeixe

VANTAGENS

Cobertura total do fundo com fiadas espaçadas de 2 a 3,5 vezes a profundidade média
 Garantia da detecção de obstruções e de estruturas marinhas anormais ao relevo submarino
 Elevada densidade dos dados recolhidos
 Imagens batimétricas de elevada resolução
 Maior segurança durante execução da sondagem
 Sondagem junto aos cais, mesmo com embarcações atracadas
 Indicação da dinâmica e das estruturas sedimentares
 Indicação do tipo de sedimentos (imagem acústica).

DESvantagens

Elevados custos de aquisição e manutenção
 Cuidada calibração do sistema/integração de todos os sensores
 Processamento da informação moroso devido a elevadas quantidades de dados obtidos
 Exigência de meios informáticos de elevados recursos
 Formação especializada
 Embarcações têm que obedecer a determinados requisitos, tais como boa capacidade de governo e manobra, estabilidade ao estado do mar (a exactidão diminui drasticamente na presença de estados de mar adversos, sendo o limite aceitável de 10° de balanço BB-EB) e, em montagens de casco, não podem produzir turbulência na zona do transdutor.

2. Constituição dos SSMF

Os SSMF são constituídos, basicamente, pelas seguintes unidades funcionais:

- Sondador multifeixe, composto por unidade electrónica de processamento, agregados de elementos transdutores (transdutores de transmissão e de recepção) e por uma unidade de operação;

- Unidade de integração do posicionamento, constituída por um sensor inercial (MRU 5), dois receptores GPS, estação de referência e módulo de integração dos dados de posicionamento com os dados de atitude do sensor inercial (calcula e envia para a unidade de processamento a posição, a atitude e proa da embarcação);
- Sondas para medição da velocidade de propagação do som na água, à superfície do transdutor e ao longo da coluna de água.

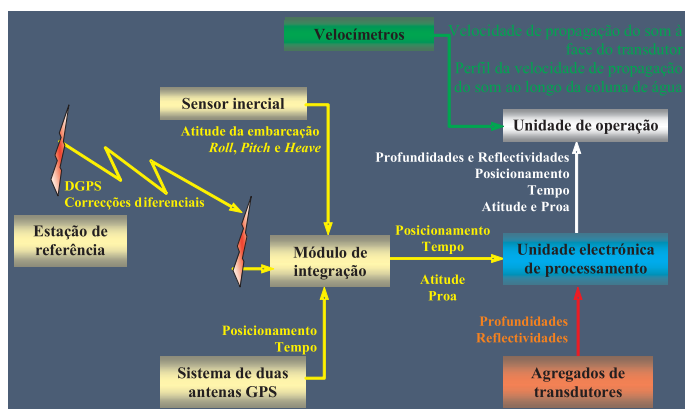


Diagrama genérico do sistema sondador multifeixe e do fluxo de informação

3. Princípios básicos de funcionamento

Os sondadores de feixe simples na determinação da profundidade utilizam, como princípio básico, o conhecimento da velocidade média de propagação do som na água e a medição do intervalo de tempo entre a transmissão de um sinal acústico e a subsequente recepção do seu eco.

Os sondadores multifeixe utilizam um princípio idêntico para efectuarem a determinação de profundidades ao longo de uma determinada faixa insonificada, obedecendo a alguns requisitos fundamentais como, por exemplo, o conhecimento do perfil da velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água e da atitude da embarcação.

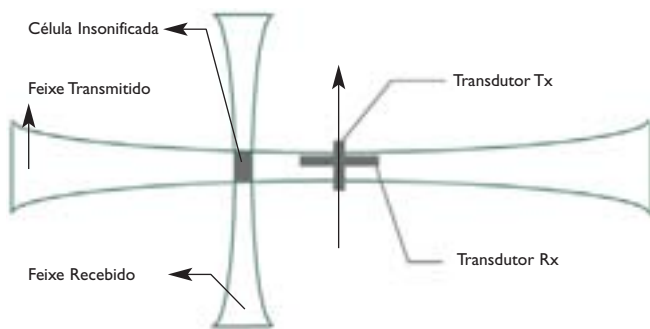
Normalmente, os sondadores multifeixe possuem dois transdutores (de transmissão e de recepção) incorporados ou não na mesma unidade. Na transmissão do feixe acústico, o transdutor de transmissão, disposto longitudinalmente, emite um feixe acústico com uma pequena abertura proa-popa e uma elevada abertura bombordo – estibordo (BB-EB).

O sinal acústico reflectido (eco) pela faixa insonificada do fundo é recebido pelo transdutor de recepção, disposto transversalmente. Nesta fase, com recurso a técnicas de processamento de sinal, são formados n feixes. Cada um destes feixes possui uma grande abertura proa-popa e uma pequena abertura BB-EB.

Cada uma das n profundidades medidas é localizada então dentro da área correspondente à intersecção do feixe transmitido com o feixe recebido.

Cada feixe formado durante a recepção, não é mais do que um conjunto de amostras do sinal recebido da área insonificada. Se a duração da recepção for reduzida, como acontece nos feixes centrais, são recebidas poucas amostras do sinal e a localização da profundidade é efectuada, regra geral, através da determinação do centro de gravidade do sinal.

À medida que caminhamos para os feixes mais exteriores, o número de amostras do sinal reflectido aumenta (aumento em tempo do período de recepção), aumentando igualmente a incerteza na determinação do centro de gravidade. Nestas situações, a profundidade é determinada com recurso a um método de diferença de fase do sinal. Na realidade, para cada feixe são formados dois meios – feixes em dois agregados do transdutor de recepção, o que vai permitir a determinação do eixo acústico (correspondente a uma diferença de fase nula entre os dois meios feixes). Com base na determinação do eixo acústico de cada feixe é então possível localizar cada profundidade.



Esquema dos feixes no plano do fundo

Conhecendo o ângulo de recepção de cada feixe e o perfil de velocidade de propagação do som na água, é determinado o trajecto do raio sonoro (com recurso ao traçado do raio acústico – *ray tracing*) e calculada a profundidade e a localização transversal do correspondente ponto da medição.

4. Notas históricas dos SMF do IH

A tecnologia multifeixe começou a ser desenvolvida no final da década de 60. No entanto, apenas no início dos anos 90, com o desenvolvimento dos recursos informáticos e do GPS, foi possível o aproveitamento completo das reais capacidades do sistema, nomeadamente em termos hidrográficos.

Foi neste cenário que o IH, de forma a manter-se na vanguarda tecnológica, adquiriu em 1995 o primeiro sondador multifeixe. Na sua aquisição, foram tidas em consideração as características dos vários equipamentos

existentes no mercado, a capacidade naval da Marinha e as principais áreas de operação do sondador a adquirir. Assim, foi adquirido o SIMRAD EM 950. Este sondador foi instalado na UAM «Coral» permitindo sondagens portuárias e costeiras desde os 3 aos 400 metros de profundidade.

O SIMRAD EM 950 permitiu ao IH o estudo e exploração dos sondadores multifeixe, possibilitando a formação de operadores.

Após a ratificação da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM) pelo Estado português, tornou-se imprescindível a aquisição de um sistema que permitisse a recolha de dados batimétricos de elevada densidade e qualidade para a pretensão de extensão do limite exterior da plataforma continental portuguesa e permitisse, igualmente, o apoio à comunidade científica nacional. Assim, em 2000 o IH iniciou o processo de aquisição, com o financiamento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, de um sondador de grandes fundos (SIMRAD EM 120), o qual foi instalado no NRP «D. Carlos I» encontrando-se operacional desde Janeiro de 2004.

Na sequência da queda da ponte Hintze Ribeiro em Castelo de Paiva, em Março de 2001 e, face à inexistência em Portugal de um sistema sondador de elevada exactidão e resolução que permitisse a detecção das viaturas sinistradas, foi necessário alugar um sistema daquele género. Optou-se então pelo sondador multifeixe modelo SIMRAD EM 3000, o qual foi fundamental na detecção das viaturas.

Face aos resultados obtidos e por decisão governamental, foi adquirido para o IH um sistema de sondagem igual, com integração de posicionamento GPS de elevada exactidão (modo RTK). Este pode ser aplicado em levantamentos hidrográficos de elevada exactidão, correspondentes aos levantamentos de Ordem Especial (conforme definidos pela Organização Hidrográfica Internacional (OHI) na Publicação Especial S-44 – *Standards for hydrographic surveys*).

Este sistema tem sido utilizado na UAM «Atlanta», no entanto, sendo um sistema portátil, já foi instalado em outras embarcações.

Em Junho de 2004, o IH celebrou um contrato de manutenção dos SMF com a empresa KONGSBERG Maritime AS, fabricante dos equipamentos e sistemas SIMRAD. O contrato contempla os diferentes sistemas multifeixe e prevê, finalmente, as necessárias e importantes acções de formação e manutenção, permitindo a actualização dos sistemas existentes no IH.

Neste âmbito, foi ainda adquirida uma nova unidade de processamento SIMRAD EM 3002 para o segundo transdutor do SIMRAD EM 3000 e um novo software de sondagem, em ambiente WINDOWS, que permitirá a construção de um novo sistema de elevada resolução.

Principais características dos SSMF existentes no IH	SIMRAD EM 120	SIMRAD EM 950	SIMRAD EM 3000	SIMRAD EM 3002
Frequência (kHz)	12	95	300	300
Máxima taxa de transmissão de impulsos por segundo	5	4	25	40
N.º de feixes formados por impulso transmitido	191	60	127	254
Largura dos feixes (transmissão×recepção)	2° × 2°	3°.3 × 3°.3	1°.5 × 1°.5	1°.5 × 1°.5
Espaçamento angular entre os feixes	2°	2°.5	0°.9	—
Cobertura angular (faixa sondada)	150°	150°	130°	130°
Alcance (m) (prof. mínima – prof. máxima)	50-11000	3-400	1-120	1-120
Taxa de aquisição de dados por hora	40 MB	25 MB	300 MB	500 MB

5. Instalações dos SMF

Os sistemas multifeixe requerem, na fase de instalação, a orientação dos sensores segundo o sistema de três eixos do referencial utilizado na embarcação (longitudinal proa-popa, transversal bombordo-estibordo e vertical) e a sua localização com uma elevada exactidão.

Conhecendo-se o centro de gravidade da embarcação de sondagem, é medida a distância nos 3 eixos ortogonais entre todos os sensores e aquele ponto, que servirá como referência. Usualmente, os dados de posicionamento e de atitude da embarcação são determinados para o centro de gravidade e transportados para o transdutor. Assim, as profundidades podem ser devidamente corrigidas de todos os factores que as afectam.

5.1. SMF SIMRAD EM 950 na UAM «Coral»

Com a aquisição, em 1995, do SMF SIMRAD EM 950, sistema de consideráveis dimensões, peso e de difícil montagem, tornou-se necessária a preparação de uma embarcação para a sua montagem. Face às características do sondador, utilizável em zonas portuárias e costeiras até à profundidade de 400 m, decidiu-se pela instalação na UAM «Coral».

A UAM «Coral» teve de ser adaptada, alterando-se os espaços interiores e os sistemas auxiliares de produção de energia eléctrica 12 e 24 V DC e 220 V AC. A embarcação foi dotada de um sistema de ar condicionado que funciona a água salgada, foi criada uma porta rebitada no convés para permitir, quando necessário, a passagem dos equipamentos do compartimento para o exterior e, foi ainda, montado um suporte fixo para o transdutor na proa da embarcação [MATIAS, 1996].

Em 1996, o sistema estava montado na UAM «Coral» e pronto a operar. Durante mais de um ano, efectuaram-se variadíssimas provas de funcionamento, calibração e desempenho.

Em 2002, com a aquisição do EM 3000 e devido à degradação das condições mínimas de segurança para navegar, a UAM «Coral» deixou de ser utilizada. Em 2004, a lancha entrou finalmente em manutenção, prevendo-se a sua utilização para o próximo ano.

Longe de estar obsoleto, o EM 950 perspectiva trabalhos nas cabeceiras dos canhões de Cascais, Lisboa e Setúbal, como aconteceu em 2000 na Nazaré, que são fundamentais para a modelação do trânsito sedimentar costeiro.

5.2. SMF SIMRAD EM 3000

A primeira utilização, em Portugal, do SMF SIMRAD EM 3000 foi em regime de aluguer, durante as sondagens que se efectuaram após a queda da ponte Hintze Ribeiro no Rio Douro em Março de 2001.

O sistema foi montado num rebocador local «Fuinha». A montagem dos equipamentos foi assegurada por técnicos da SIMRAD. Este trabalho serviu, em termos hidrográficos e no domínio da tecnologia multifeixe, como uma verdadeira escola prática, possibilitando a formação *on-job* na operação do sistema.

Devido aos excelentes resultados obtidos na detecção das viaturas sinistradas, foi adquirido, em Junho 2001, um sistema idêntico. O EM 3000 é um sondador de baixos fundos (até aos 120 m de profundidade) e tem como característica fundamental a sua portabilidade, podendo ser instalado em embarcações de ocasião, desde que possuam sistemas de energia com 220 V AC e possibilidade de montagem dos suportes dos equipamentos, nomeadamente do transdutor.

O sistema foi entregue à BH em Agosto de 2001. Sem quaisquer apoios externos, a BH, auxiliada pela Divisão de Hidrografia (HI), efectuou os esforços necessários, com a experiência adquirida em Entre-os-rios, para colocar o sistema operacional.

Após um período experimental, necessário para ultrapassar as dificuldades sentidas na montagem e na operação, conjuntamente com algumas avarias técnicas surgidas na unidade de operação, o sistema ficou operacional no início de 2002, tendo sido o LH de Setúbal, o primeiro trabalho realizado com este sondador (Março e Abril).

Foi envolvida a UAM «Atlanta» como plataforma de utilização nos portos e zonas costeiras do continente. Esta embarcação, que tinha sido igualmente preparada, caso houvesse necessidade, para a montagem do EM 950, foi facilmente adaptada para receber o EM 3000. Inicialmente, foi utilizada uma barra de ferro em «I» para

suporte do transdutor à proa da embarcação, revelando-se uma má opção uma vez que não acompanhava adequadamente a atitude da embarcação. Acoplou-se então o transdutor a uma barra rectangular em aço inox, idêntica à utilizada no EM 950 na UAM «Coral», com excelentes resultados.

No mastro da embarcação, foi fixado um suporte de 2,5 m de comprimento para montagem das duas antenas GPS. Uma das antenas permite a aquisição dos dados de posicionamento e, as duas em conjunto, permitem o cálculo da proa da embarcação com maior exactidão, evitando o uso de uma girobússola ou qualquer outro equipamento do género.

Na ponte foram montados os monitores que permitem a condução da navegação pelo patrão da embarcação e o controlo da sondagem pelo director da sondagem. Esta solução é muito útil porque facilita a comunicação entre o director de sondagem e o patrão da embarcação.

No compartimento interior foram montados os restantes equipamentos associados ao sistema num *rack* de 19", o que facilita o seu transporte, montagem e fixação.

No Verão de 2002 e em Outubro de 2003, o SMF SIMRAD EM 3000 foi utilizado na Ilha da Madeira. Não sendo viável nestes casos a deslocação da UAM «Atlanta» para a Madeira e, sendo este sistema portátil, a opção consistiu em transportar por avião os equipamentos e montá-los na embarcação «S. Roque» cedida pelo Governo Regional.

Contudo, regista-se a dificuldade do transporte de cerca de 10 caixotes de material com cerca de 600 kg e a montagem destes equipamentos pela primeira vez numa embarcação de ocasião, nomeadamente no que concerne à montagem dos suportes do transdutor.

Em 2002, os suportes disponíveis foram os utilizados no rebocador «Fuinha» (Entre os Rios). Ora, as características das proas do «Fuinha» e do «S. Roque» são bem distintas, sendo a do primeiro baixa e quase rectilínea e a deste último bem mais alta e curvilínea, como é norma em muitas embarcações de pesca. Verificou-se, como resultado, que os suportes existentes não possibilitavam uma adequada e segura montagem do transdutor.

A solução encontrada consistiu na manufactura de uma chapa em ferro aparafusada à proa da embarcação e na qual corria, então, o tubo que suportava o transdutor. O desconhecimento da localização do centro de gravidade da embarcação impôs como melhor solução a montagem dos sensores de posicionamento e de atitude na vertical do transdutor. Desta forma, o posicionamento e a atitude da embarcação foram transportadas apenas no eixo dos zz' , minimizando eventuais erros.

Esta montagem, apesar de permitir a sondagem com resultados positivos, verificou-se sensível a estados de mar adversos e, em casos de anomalias ou mau funcionamento do sondador, obrigava à desmontagem

completa do tubo de suporte para inspecionar o transdutor e as suas ligações.

No levantamento de 2003 na costa norte da Ilha e em estados de mar adversos, as fixações cederam e o tubo de ferro de fixação do transdutor encurvou, obrigando a várias calibrações.

Neste âmbito, e sendo previsível novos levantamentos na Ilha Madeira a curto prazo, foi iniciado o fabrico de um novo sistema de suporte em aço inox na oficina de mecânica das Instalações Navais da Azinheira (INAZ), que facilita o transporte e a montagem, podendo ser adaptado a vários tipos de embarcações.

Em Maio de 2004, após algumas provas funcionamento e calibração, o EM 3000 foi utilizado pela primeira vez em Setúbal, numa das três novas embarcações de sondagem adquiridas pelo IH. Estas embarcações chegaram ao IH no final do ano passado (2003), todas com capacidade para utilização daquele SMF e de sistemas SFS. Actualmente, uma destas embarcações encontra-se no NRP «D. Carlos I» e as outras duas nas INAZ. Nestas embarcações, a montagem do transdutor é de casco. Os restantes equipamentos são montados na cabine de navegação em *rack* de 19".

5.3. SMF SIMRAD EM 120 no «D. Carlos I»

O SMF SIMRAD EM 120 foi adquirido pelo Instituto Hidrográfico em Maio de 2001, para ser instalado a bordo do NRP «D. Carlos I», sendo instalado a bordo durante a segunda fase de conversão em navio Hidrográfico.

O sistema foi instalado numa estrutura do tipo «gôndola» a qual foi desenhada pela Direcção de Navios e construída e montada a bordo pelo Arsenal do Alfeite.

A instalação de todos os sensores do SMF, à excepção dos transdutores do sistema foi efectuada durante o mês de Março de 2003 pelo Arsenal do Alfeite, de acordo com o desenho de projecto da Direcção de Navios. A instalação dos transdutores foi efectuada no período compreendido entre 6 e 15 de Março de 2003 por dois técnicos da firma KONGSBERG SIMRAD com auxílio do Arsenal do Alfeite.

No período de 12 a 17 de Janeiro de 2004 decorreram as provas de mar ao SMF, que incluíram as provas de aceitação do sistema, tendo como objectivo a verificação das condições de funcionamento, da integridade e da conformidade das medições efectuadas com as especificações apresentadas pelo fabricante. Após a verificação dos parâmetros de instalação e de comunicação entre os vários sensores que constituem este sistema, foram efectuadas provas de calibração e de análise do ruído ao nível dos transdutores. Para concluir as provas de mar foi efectuada a sondagem de uma área de aproximadamente 22 km×28 km, numa zona irregular, canhão submarino de Setúbal, e numa zona regular adjacente ao canhão de Setúbal, a fim de analisar a integridade das medições efectuadas pelo referido sistema SMF.

6. Provas de funcionamento, calibração e desempenho

Após a instalação dos sensores que constituem os sistemas sondador multifeixe, é necessário efectuar provas de funcionamento e de comunicação das diferentes unidades funcionais.

Uma vez o sistema operacional é possível proceder à sua calibração através de um conjunto de provas específicas [OHI, 2004], para obter os desvios de instalação das várias unidades.

As provas de calibração consistem na medição dos desvios da origem de medição do balanço, do cabeceio, da proa e do atraso em tempo do posicionamento relativamente à medição de profundidades. Os valores determinados são introduzidos no software de aquisição, de forma a serem aplicados no cálculo das coordenadas de cada feixe.

As provas de calibração devem ser efectuadas a seguir à instalação do SSMF, a longos períodos de imobilidade da embarcação de sondagem, sempre que ocorram alterações ou modificações da embarcação, e sempre que for julgado conveniente proceder a nova calibração.

A utilização dos sondadores em levantamentos hidrográficos deve ter ainda em consideração as recomendações da Organização Hidrográfica Internacional (OHI). Para este efeito, o sistema deve satisfazer os requisitos de exactidão definidos pela OHI [OHI, 1998], na medição da profundidade e no posicionamento, e de detecção de objectos cúbicos. É assim necessário, para a sua utilização efectiva, a execução de provas de aceitação do sistema e de desempenho para sua posterior utilização em levantamentos hidrográficos.

As provas de desempenho consistem em avaliar globalmente o funcionamento do SSMF e determinar qual a repetibilidade de cada feixe, comparando as fiadas

de sondagem com uma superfície de referência [ARTILHEIRO *et al.*, 1999].

Em 1999 efectuaram-se provas de exactidão do SMF SIMRAD EM 950 com o objectivo de determinar a exactidão deste sondador instalado na UAM «Coral». Estas provas consistiram num LH realizado no interior da doca seca n.º 13 da Lisnave, tendo-se comparado o levantamento com a topografia conhecida da doca. Os resultados revelaram uma diferença de 16 cm (95% de nível de confiança) para a cobertura, correspondente a uma faixa útil de 3,5 vezes a profundidade [ARTILHEIRO *et al.*, 2001].

Em 2002, foram realizadas provas idênticas ao SMF SIMRAD EM 3000 na mesma doca seca e relativas à exactidão na medição da profundidade. A comparação dos dados de profundidade medida com a topografia conhecida da doca, considerando a profundidade média de 10 m, revelou uma exactidão de 11 cm (95% de nível de confiança) para uma faixa sondada de 3,5 vezes a profundidade [ARTILHEIRO *et al.*, 2003].

Em 2004, após efectuadas as provas de mar ao SMF SIMRAD EM 120 no NRP «D. Carlos I», sondou-se uma área regular com uma profundidade média de 2500 m. Para esta área foi gerada uma superfície média, modelo numérico do fundo com malha regular representativa da área sondada. Os resultados da comparação das fiadas de verificação com a superfície de referência indicam, para a profundidade de 2500 m, um erro relativo inferior a 0,8% da profundidade (ou seja inferior a 20 m) em 95% dos casos. Estes resultados satisfazem os requisitos para levantamentos hidrográficos de ordem 2 e 3.

7. Trabalhos efectuados

7.1. Levantamentos hidrográficos

SMF SIMRAD EM 950	
Set 1997	Levantamento do passo da barra sul do porto de Lisboa.
Out 1997	Levantamento da barra do porto de Setúbal.
Out 1997	Levantamento do porto de Sines.
Out 1999	Levantamento do passo da barra sul do porto de Lisboa.
Fev 2000	Levantamento no porto de Lisboa, entre S. Julião da Barra e a Torre de Belém.
Mai/Jun 2000	Levantamento do canhão da Nazaré, desde a linha de costa até aos 300 m, e das plataformas norte e sul adjacentes.
Ago 2000	Buscas de uma aeronave ao largo de Sesimbra com resultados positivos.
Out 2000	Levantamento de uma área a sueste do molhe leste do porto de Sines, que serviu para o estabelecimento da «situação zero», antes do arranque das obras de prolongamento do molhe leste.
Abr, Set 2001	Levantamentos do passo da barra sul do porto de Lisboa.
Mai/Jun 2001	Levantamento da barra e do porto de Setúbal.
Jan 2002	Levantamento de uma área adjacente a Cacilhas para localização do pontão «Chelas».
SMF SIMRAD EM 3000	
Mar/Abr 2002	Levantamento da barra e do porto de Setúbal.
Abr 2002	Levantamento de uma área a oeste de Pinheiro da Cruz.
Abr, Set 2002	Levantamentos do passo da barra sul do porto de Lisboa.
Jun/Jul/Ago 2002	Levantamento de uma área na costa sul da Ilha da Madeira, compreendida entre o Cabo Girão e a Ponta do Pargo e entre a linha de costa e a batimétrica dos 100 m.

	Este trabalho teve a particularidade de, pela primeira vez, a BH e o IH avaliarem a portabilidade do sistema com resultados satisfatórios.
Nov 2002	Pequeno levantamento junto a Cacilhas para actualização da CNO 26305.
Dez 2002	Levantamento da Base Naval de Lisboa e dos canais do Alfeite e do Arsenal.
Jan/Mar/Jun Ago/Nov 2003	Série de 5 levantamentos em Sines, num trabalho conjunto com a Divisão de Geologia Marinha, que visou o estudo do impacto no trânsito sedimentar a norte e a sul do porto, induzido pela construção do prolongamento do molhe Leste. Este trabalho, realizado ao longo do ano e com diferentes situações oceanográficas e meteorológicas, permitiu a obtenção de um balanço sedimentar final. Os levantamentos foram realizados ao largo da Praia do Norte, da Praia de S. Torpes e da Samouqueira. Envolveu ainda a sondagem de uma área envolvente ao porto de Sines e nomeadamente ao prolongamento do molhe leste e ao terminal XXI.
Abr, Set 2003	Levantamentos do passo da barra sul do porto de Lisboa.
Jun 2003	Levantamento efectuado em Junho em conjunto com a equipa de sonar lateral do IH na busca de objectos, no âmbito do afundamento do navio mercante «Nautila». Este teve um incidente na barra do porto de Lisboa, vindo a naufragar ao largo em profundidades de 85 m. No entanto, aquele incidente provocou a queda de contentores, condicionando a entrada da barra. sul. As buscas desenvolvidas permitiram localizar o «Nautila» e três contentores, permitindo, passados três dias, a abertura da barra à navegação.
Set/Out 2003	Em Setembro, uma aeronave caiu ao mar na costa norte da Ilha da Madeira. As buscas, realizadas em conjunto com uma equipa da Divisão de Geologia Marinha operando o sonar lateral, não produziram os resultados esperados, nomeadamente devido à situação particular do fundo, constituído fundamentalmente por estruturas rochosas, e devido às condições de mar adversas.
Mar/Abr 2004	LH no Algarve. Este trabalho teve como objectivo a detecção de recifes artificiais. Estes, com dimensões de 3, 6 e 9 m ³ foram facilmente detectáveis e possíveis de cartografar.
Mai/Jun 2004	Levantamento efectuado na barra e no porto de Setúbal. Neste LH sobressai a utilização pela primeira vez, de uma das três novas embarcações de sondagem do IH, neste caso a «Cagarra». Este levantamento teve ainda a particularidade de terem sido adquiridas cerca de 550 milhões de sondas num total de 35 GB de informação, e obrigar a cuidados especiais no tocante ao manuseamento e processamento dos dados. Serviu ainda para estabelecer a «situação zero», uma vez que, em certas zonas da barra e do porto, ocorrerão operações de dragagem.
Abr, Jul 2004	Levantamentos do passo da barra sul do porto de Lisboa.
Ago 2004	Levantamento do passo da barra sul do porto de Lisboa para controlo de operações de dragagem.
SMF SIMRAD EM 120	
Jun/Jul 2004	No âmbito do apoio à comunidade científica nacional (projecto MATESPRO – processos tectónicos e de dinâmica sedimentar nas margens portuguesas), foi realizado um levantamento batimétrico a sul da costa do Algarve.
Ago 2004	Levantamento Hidrográfico a Oeste de Portugal – Projecto IBERTORE.

7.2. Comunicações e artigos publicados

Data	Comunicação/Artigo Autor(es) Descrição
1991	Sistemas sondadores multifeixe – Anais do IH n.º 12 Fernando Maia Pimentel Artigo publicado com o objectivo de apresentar os conceitos básicos relacionados com os sondadores multifeixe, analisando os vários aspectos daqueles equipamentos, desde a acústica submarina até aos métodos de processamento e às suas implicações na montagem em navios
2000	Provas de exactidão do SSMF SIMRAD EM 950 na doca seca da Lisnave Fernando Artilheiro e Fernando Maia Pimentel Este artigo apresenta os resultados das provas efectuadas na determinação da exactidão absoluta na medição da profundidade pelo SMF SIMRAD EM 950.
2000	Desenvolvimentos recentes da Hidrografia em Portugal – <i>Anais</i> do IH n.º 14 João Marreiros e Fernando Artilheiro Este artigo descreve os avanços mais recentes em hidrografia (nomeadamente nas áreas do GPS e dos sondadores multifeixe), estabelecendo um paralelo com a experiência adquirida pelo IH, na implementação de novas tecnologias.
2003	Operação de detecção das viaturas sinistradas no acidente da ponte Hintze Ribeiro – Comunicação proferida durante o evento FEMME 2003 João Marreiros e João Vicente Esta comunicação teve como objectivo evidenciar a importância do SMF SIMRAD EM 3000 nas operações de busca e detecção, desenvolvidas pelo IH no rio Douro, após a queda da ponte Hintze Ribeiro.
2003	Provas de avaliação do SMF SIMRAD EM 3000 em doca seca – Comunicação proferida durante o evento FEMME 2003 Fernando Artilheiro, Fernando Maia Pimentel e João Vicente Esta comunicação teve como objectivo relatar os resultados das provas efectuadas ao SMF SIMRAD EM 3000 em doca seca, relativas à exactidão na medição das profundidades.

8. Aplicações dos dados multifeixe

8.1. Segurança da navegação

Apesar dos levantamentos efectuados pelo IH com SMF poderem ter objectivos diversos, eles são realizados de forma a cumprir as recomendações da Publicação Especial S-44 da OHI relativas à execução de levantamentos hidrográficos. Desta forma, a informação recolhida permite a actualização cartográfica com informação hidrográfica de elevada resolução batimétrica necessária à segurança da navegação, nomeadamente nos portos e suas aproximações.

Actualmente, já são várias as áreas sondadas com multifeixe, sendo a informação recolhida utilizada na actualização das cartas náuticas oficiais:

- Zonas portuárias: porto de Lisboa (passo barra sul, da Torre de Belém a S. Julião, canais do Alfeite e do Arsenal, Base Naval de Lisboa e uma área envolvente a Cacilhas), barra e porto de Setúbal e porto de Sines;
- Zonas costeiras: canhão da Nazaré (até aos 300 m), faixas costeiras até aos 50m de profundidade das praias do Norte, S. Torpes e da Samouqueira, áreas de recifes artificiais na costa algarvia (recifes do Alvor, Oura, Vilamoura, Ancão, Tavira e Cacela) e zona costeira até aos 100 m da área entre o Cabo Girão e a Ponta do Pargo na Costa Sul da Ilha da Madeira

8.2. Detecção de objectos

A detecção de objectos com sondadores multifeixe tem em consideração as dimensões, as características do objecto e a profundidade a que ele se encontra, assim como as especificidades do equipamento utilizado. Outro factor não menos importante reside nas condições ambientais, nomeadamente no estado do mar e nas características geomorfológicas da área a sondar. Esta última característica é fundamental quando se quer seleccionar objectos para identificação com outros meios.

As características do fundo, predominantemente rochosas, inviabilizaram a detecção da aeronave sinistrada ao largo da costa norte da Ilha da Madeira em 2003. No entanto, conforme constatado em Castelo de Paiva, o EM 3000 apresentou-se, em condições de fundos baixos, como um meio essencial e complementar ao sonar lateral em operações de busca. Este sistema permitiu gerar imagens batimétricas de elevada resolução, em tempo real, assim como imagens sonar com representação das diferentes reflectividades do fundo, fundamentais para a selecção de ecos para validação.

Na busca de objectos de média/grande dimensão, e quando o fundo é conhecido ou regular (arenoso), a área de busca pode ser dividida e, nas maiores profundidades, efectuar um levantamento a multifeixe (maior rentabili-

dade), enquanto que, nas menores profundidades, efectua-se o levantamento com sonar lateral. Os ecos obtidos são depois individualmente inspeccionados pelos dois sistemas. Quando o fundo é predominantemente rochoso e pouco conhecido deve-se, inicialmente, efectuar o levantamento com multifeixe por razões de segurança relativas à integridade dos transdutores do sonar lateral, uma vez que estes são rebocados e os seus resultados são tanto melhores quanto maior a proximidade do fundo.

8.3. Indicação do tipo de fundo

A imagem sonar é um bom indicador do tipo de sedimentos (por exemplo: lodo, areia e rocha). Esta imagem, associada ao relevo do fundo submarino, constitui um elemento de interesse em estudos geofísicos. Pode servir igualmente como auxílio na validação dos dados durante o processamento dos dados de profundidade.

8.4. Estudos geofísicos, dinâmica sedimentar, impacte ambiental e controlo de dragagens

A elevada exactidão e densidade dos dados de profundidade conduzem a modelos numéricos do fundo com elevada resolução. Esta informação pode ser utilizada para controlo e monitorização da dinâmica dos fundos, assim como para o controlo e cálculo de volumes em operações de dragagem.

8.5. Apoio a obras portuárias

Permite o apoio à decisão no planeamento, controlo e inspecção de obras portuárias.

9. Considerações finais

Os sondadores multifeixe são o meio preferencial no conhecimento do fundo marinho, evidenciando-se como garantia de recolha de informação hidrográfica de maior confiança. Em virtude da cobertura total do fundo, a detecção das sondas mínimas é garantida, facto essencial à eficaz segurança da navegação, nomeadamente nos portos e suas aproximações.

Conforme constatado, a capacidade destes sondadores em detectar estruturas anómalas ao fundo, que representam formações geológicas ou objectos artificiais, é deveras importante quando o objectivo dos levantamentos passa por garantir a segurança da navegação, bem como potenciar estudos geológicos. Nesta área, que se constitui como uma das mais valias de quem possui os meios, é essencial ter presente o conhecimento adequado do fundo marinho. Mais uma vez, esta tarefa, actualmente, apenas poderá ser executada

por sondadores multifeixe, uma vez que são os únicos que permitem a aquisição de elevadas taxas de dados de profundidade.

Um Estado costeiro tem cada vez mais interesse e necessidade em conhecer profundamente os recursos naturais relacionados com o fundo marinho pertencente à sua plataforma continental. O conhecimento das características do subsolo é uma mais valia científica e económica. O conhecimento das estruturas geológicas e da dinâmica sedimentar permite os adequados estudos que envolvem todo o tipo de trabalhos marítimos. Por outro lado, torna-se necessário fiscalizar determinadas indústrias como, por exemplo, a extracção de inertes. Esta fiscalização, conjuntamente com o conhecimento da dinâmica sedimentar, poderá produzir estudos de impacto ambiental.

Os recursos marinhos e do subsolo são a evidente projecção de que um Estado não se limita às suas fronteiras terrestres.

Bibliografia

ARTILHEIRO, F., P. SANCHES E F. PIMENTEL (1999). «Overview of the Multibeam Project for Nautical Chart Update at the

Portuguese Hydrographic Office», *Proceedings of FEMME 99*, Oslo, Noruega.

ARTILHEIRO, F. (2000). «Multibeam Data Cleaning with HIPS: A User's Perspective». *Proceedings of the International User's Conference CARIS 2000*, New Orleans, Estados Unidos.

ARTILHEIRO, F. E F. PIMENTEL (2001). «Multibeam Tests on Dry Dock». *Hydro International*. Netherlands.

ARTILHEIRO, F. (2002). «A Hidrografia no Apoio às Actividades Costeiras e Portuárias», *VIII Jornadas de Engenharia Naval*, Viana do Castelo.

ARTILHEIRO, F. E J. VICENTE (2003). «EM 3000 Multibeam Echo-sounder Evaluation Test at Dry-dock», *Proceedings of FEMME 2003*, Cádiz, Espanha.

MARREIROS, P. E F. ARTILHEIRO (1999). «Desenvolvimentos Recentes da Hidrografia em Portugal», *Comunicações das 1.ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, Porto.

MATIAS, A. (1996). «Novas tecnologias em hidrografia», *Hidro-mar* Agosto/Setembro 1996, Lisboa.

OHI (2004). «Manual de Hidrografia da OHI – Capítulo III», Organização Hidrográfica Internacional, Mónaco.

OHI (1998). «Publicação Especial S-44 – Standards for hydrographic surveys», Organização Hidrográfica Internacional, Mónaco.

PIMENTEL, F. (1991). «Sistemas sondadores multifeixe». *Anais do IH*, n.º 12, Instituto Hidrográfico, Lisboa.



UAM «Coral»



UAM «Atlanta»



Embarcação «Cagarra»



Rebocador «Fuinha»



Embarcação «S. Roque»



NRP «D. Carlos I»

Aspecto da montagem das duas antenas GPS na UAM «Atlanta»



Aspecto das antenas GPS e do MRU instalados na proa da embarcação «S. Roque»





Área de operação dos equipamentos na UAM «Atlanta»



Sensor de atitude (MRU 5) na UAM «Atlanta»



Aspecto da proa do «S. Roque»



Aspecto da montagem do transdutor no «S. Roque»



Montagem dos equipamentos do EM 3000 em rack de 19" na UAM «Atlanta»

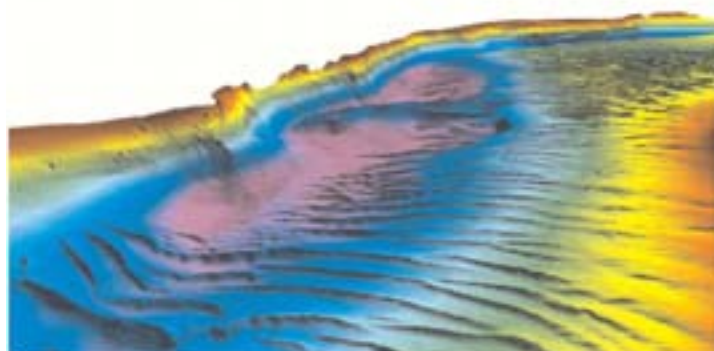
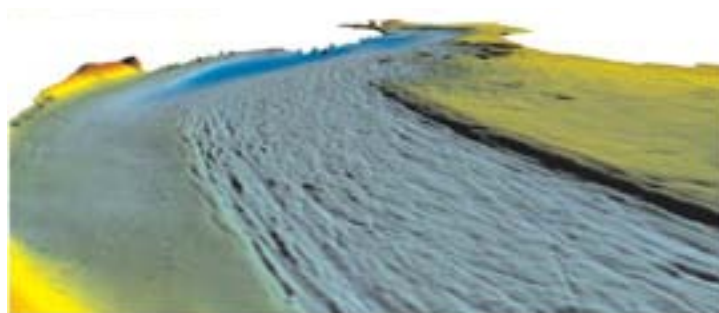
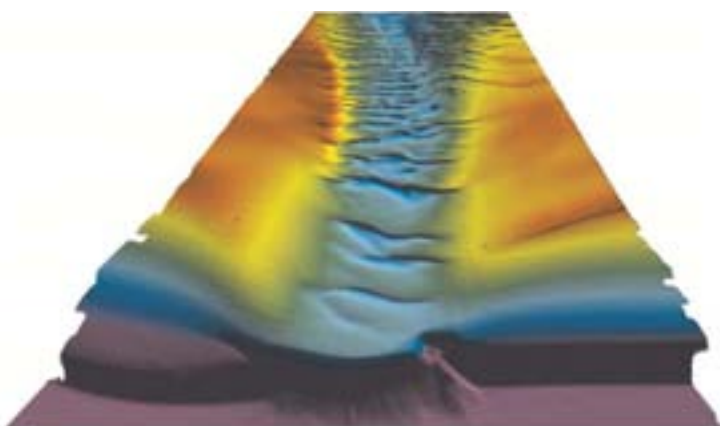
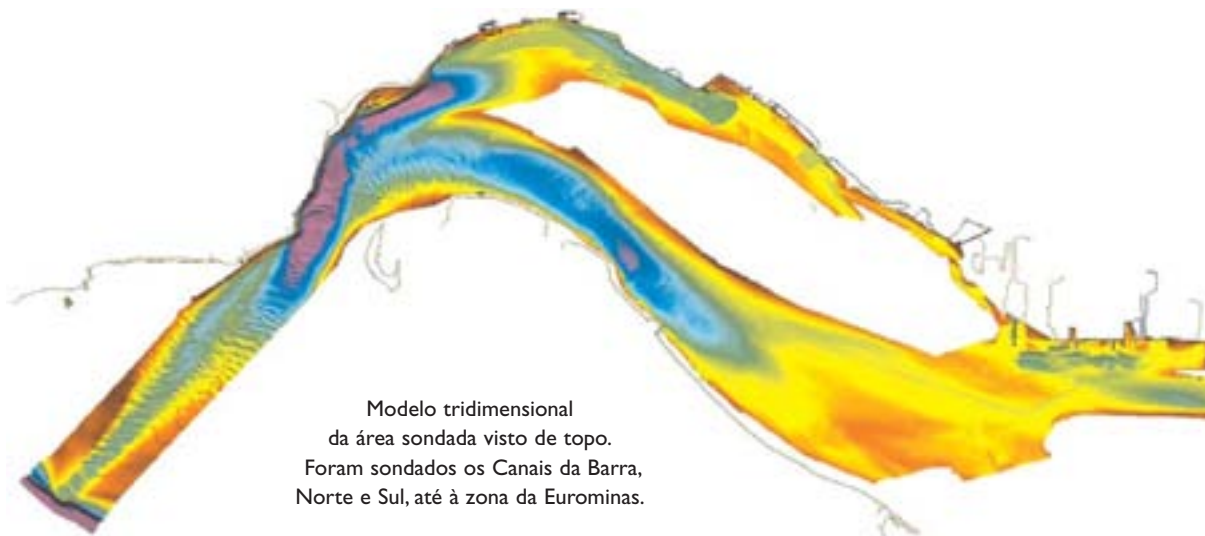


Lançamento do SVP 16 na embarcação «S. Roque»

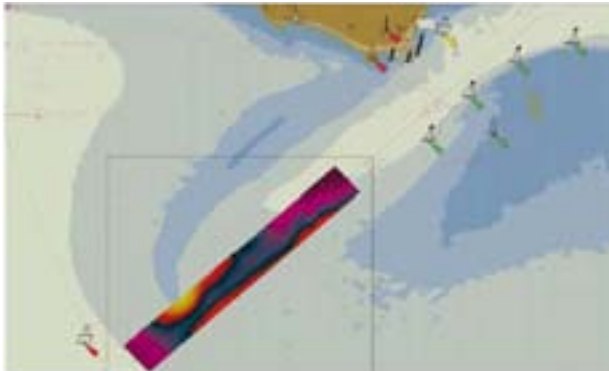


Montagem da gôndola no NRP «D. Carlos I»

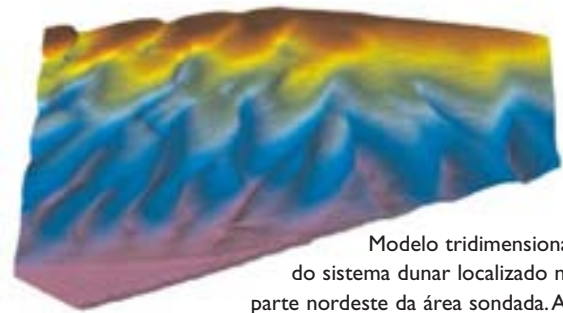
Imagens digitais do último levantamento hidrográfico (LH) da barra e do porto de Setúbal, realizado com o sondador multifeixe (SMF) SIMRAD EM 3000. Este levantamento foi realizado no âmbito do protocolo assinado entre o Instituto Hidrográfico (IH) e a Administração dos portos de Setúbal e de Sesimbra.



Com base no protocolo existente entre a Administração do Porto de Lisboa e o IH, têm sido efectuados, semestralmente, em Abril e em Setembro, levantamentos hidrográficos no passo da barra sul do Porto de Lisboa. Estes trabalhos têm como objectivo o estudo da evolução batimétrica dos fundos da barra, em particular na zona envolvente ao Cabeço do Pato.

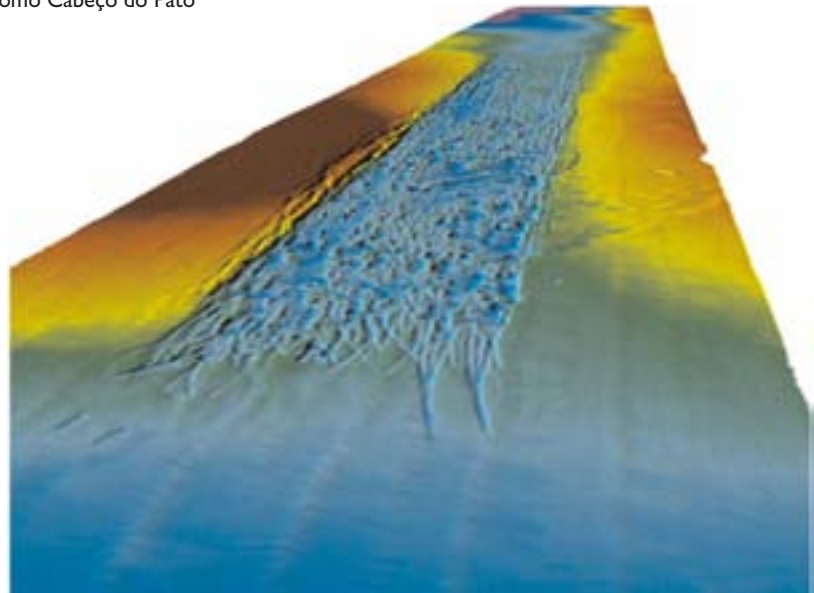


Modelo tridimensional da área do LH, efectuado em Abril de 2004. A amarelo e a vermelho estão representados os fundos inferiores a 14 m, sendo visível, por comparação com dados de trabalhos anteriores, a migração do baixio conhecido como Cabeço do Pato no sentido do enfiamto.



Modelo tridimensional do sistema dunar localizado na parte nordeste da área sondada. As dunas atingem cerca de 100 m de largura, 5 m de altura e podem atingir mais de 1 000 m de comprimento.

Modelo tridimensional da área sondada, sendo visível os resultados da dragagem efectuada em Agosto de 2004.



Em Junho de 2003, o navio mercante «Nautila» ao demandar a barra sul do porto de Lisboa teve um acidente. Este acidente implicou a perda de contentores ao longo da barra e o afundamento do navio no exterior da barra em profundidades da ordem dos 100 m. A BH realizou um levantamento hidrográfico para detecção dos contentores, em conjunto com a equipa de sonar lateral do IH. As buscas desenvolvidas permitiram localizar o «Nautila» e três contentores, permitindo, passados três dias, a abertura da barra à navegação.



Modelo tridimensional do navio mercante «Nautila».

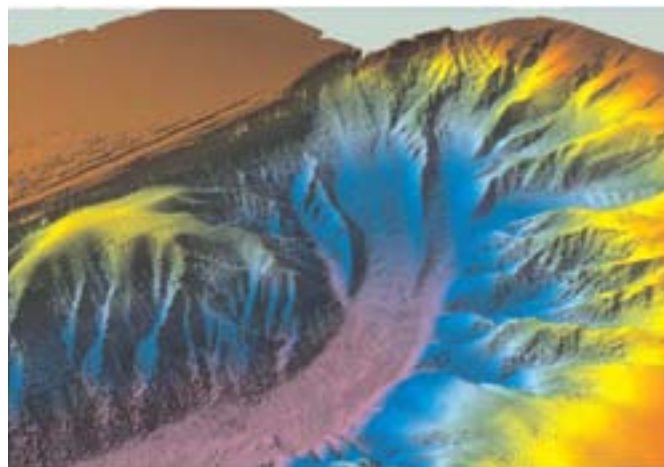


Modelo tridimensional de um contentor que se encontrava em profundidades de 15 m.

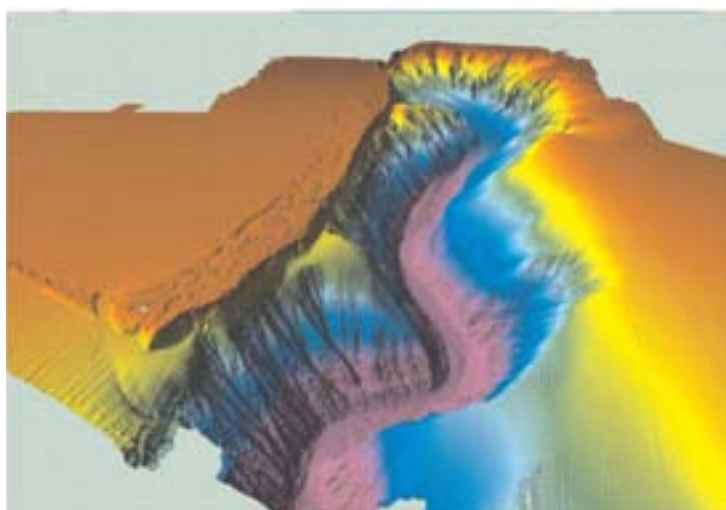
Imagens digitais do LH realizado no canhão da Nazaré em 2000 com o SIMRAD EM 950, desde a praia até às profundidades de 300 m. Este trabalho evidenciou o EM 950 como um sistema de sondagem ainda essencial, nomeadamente para as profundidades compreendidas entre os 100 e os 350 m.



Modelo tridimensional do canhão visto de topo

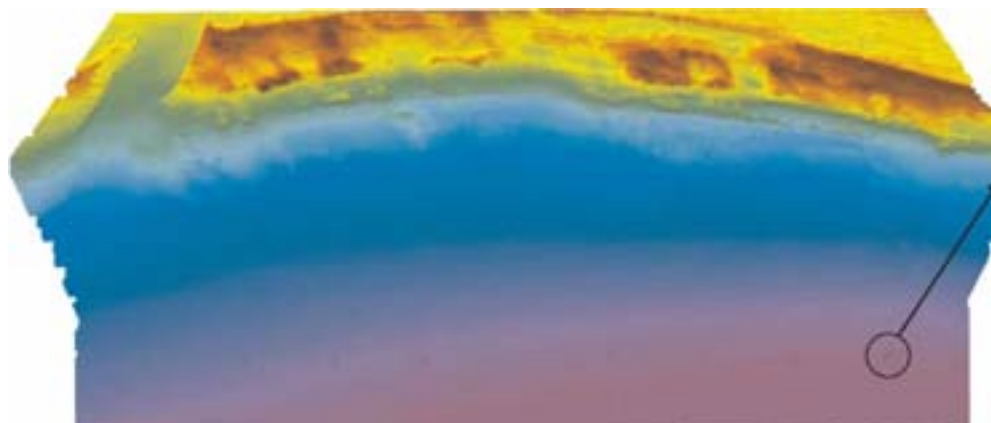


Modelo tridimensional da cabeceira do canhão. É visível o escoramento dos sedimentos vindos de norte e da praia



Modelo tridimensional do canhão

No LH no Algarve, realizado em Março e Abril de 2004, foram sondadas seis áreas correspondentes às zonas onde foram criados recifes artificiais (Alvor, Oura, Vilamoura, Ancão, Tavira e Cacela). Este trabalho teve como objectivo a detecção dos recifes. Estes são compostos por cubos de 3, 6 e 9 m de aresta.



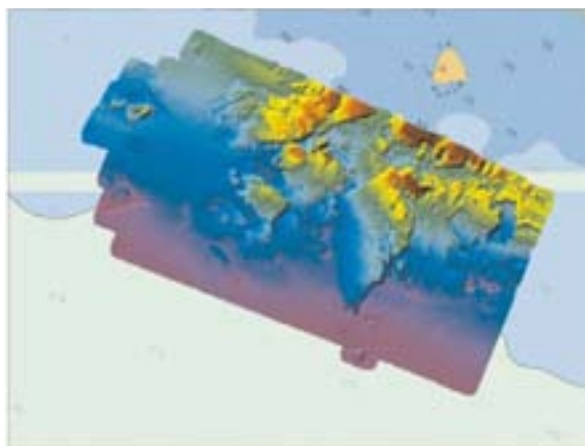
Recifes do Alvor. São visíveis quatro linhas de colocação de recifes



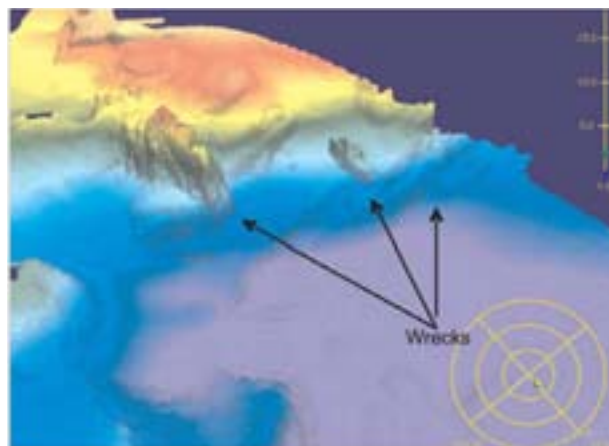
Pormenor de um conjunto de 4 recifes.

Modelo tridimensional da entrada da barra de Faro





Busca de uma sonda mínima na ponta do Altar durante o LH no Algarve

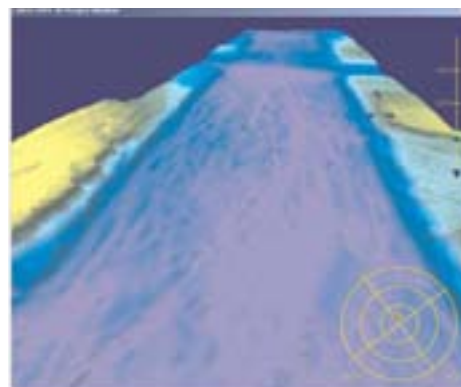


Modelo tridimensional do LH junto a Cacilhas para actualização da CNO 26305. Foram detectados e localizados dois navios e um batelão afundados

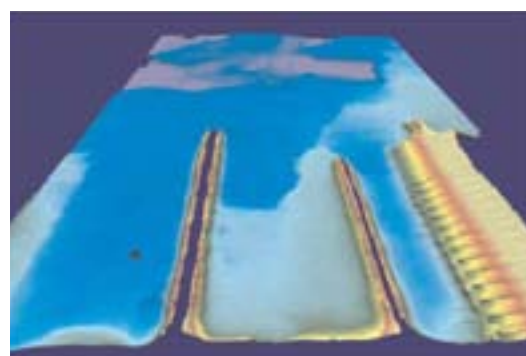
Em Dezembro de 2002, foi realizado um levantamento na Base Naval de Lisboa e nos canais do Alfeite e do Arsenal.



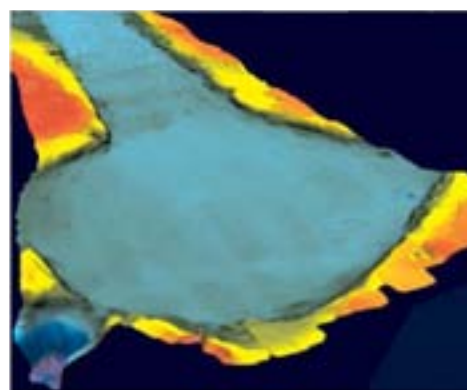
Fotografia aérea integrada com o modelo tridimensional obtido dos dados multifeixe



Modelo tridimensional do canal do Alfeite

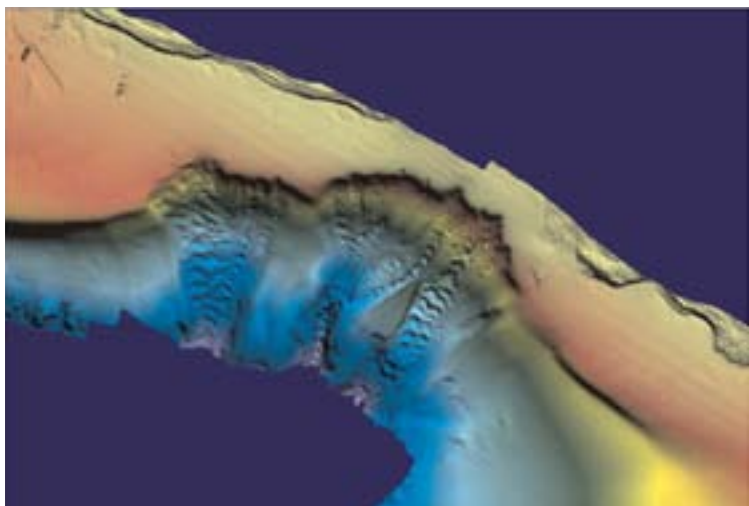


Modelo tridimensional da bacia do Arsenal do Alfeite. São visíveis os carris de acesso dos navios ao plano inclinado.

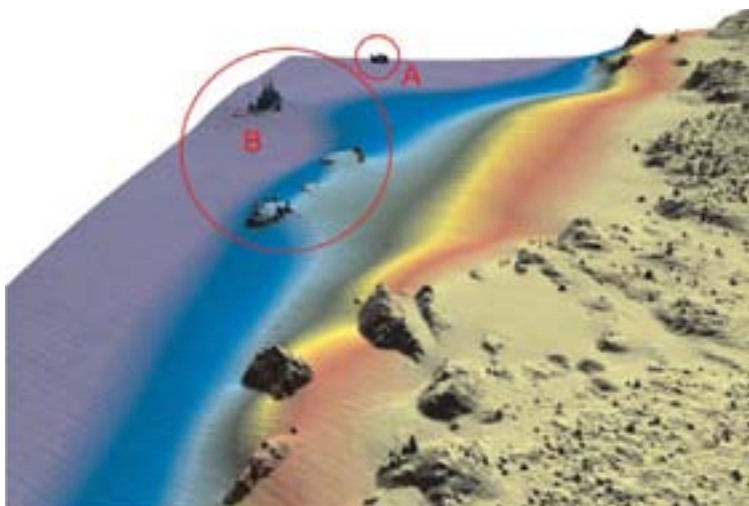


Modelo tridimensional da bacia de manobra de acesso à doca seca do Arsenal do Alfeite

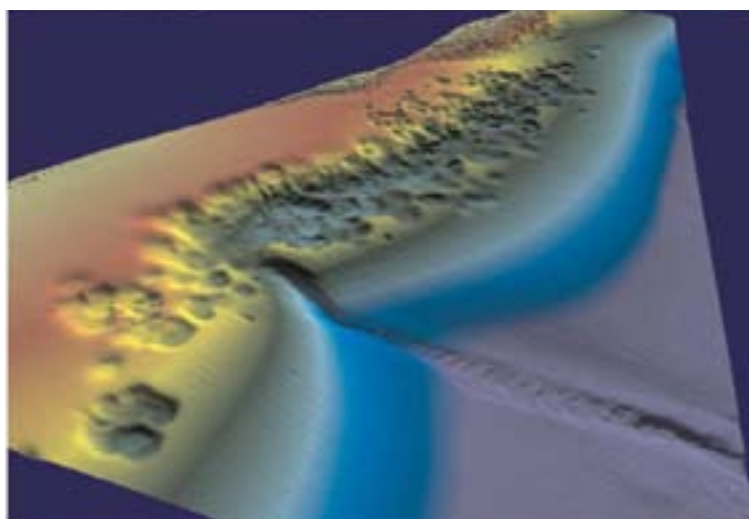
O levantamento hidrográfico realizado em 2002 pela BH na costa sul da Ilha da Madeira constituiu um trabalho ímpar no Instituto Hidrográfico, pela primeira vez foi avaliada a portabilidade do SMF SIMRAD EM 3000. O principal objectivo deste LH foi o estudo da dinâmica sedimentar e marcou o primeiro elo de ligação entre a Divisão de Geologia Marinha e a BH na área do multifeixe, surgido de um protocolo assinado entre o IH e a Direcção Regional do Equipamento Social e Transportes da Madeira. Este trabalho veio ainda salientar a importância que este sistema poderá assumir no controlo de extracção de inertes, verificando as áreas de operação, volumes dragados e evolução da dinâmica sedimentar envolvente à área de operação.



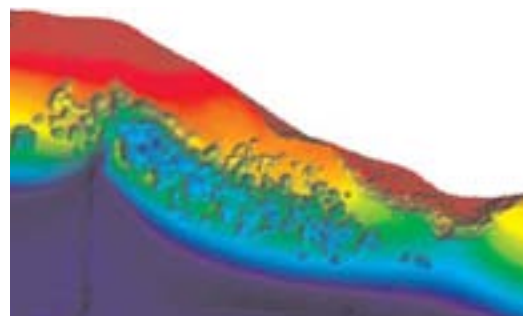
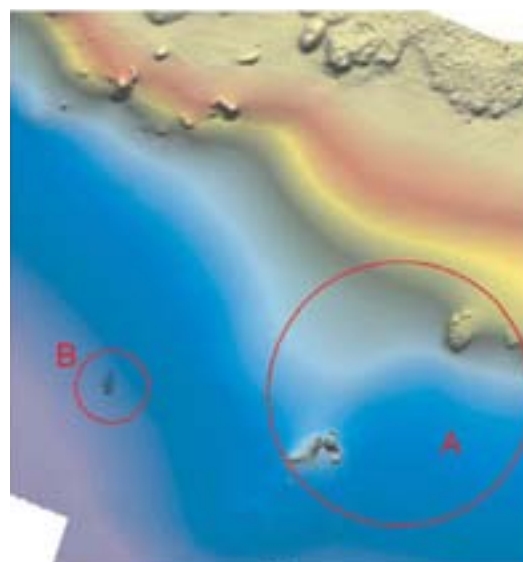
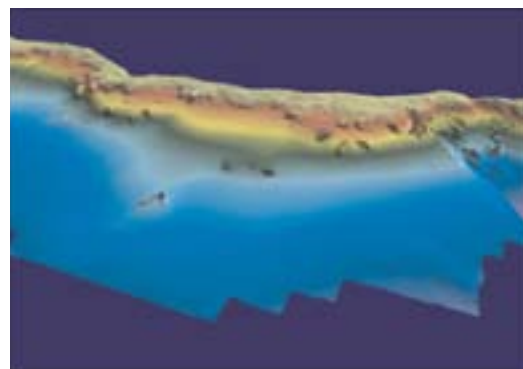
Modelo tridimensional do canhão da Calheta



Modelo tridimensional da zona a oeste do Cabo Girão. São visíveis prováveis crateras vulcânicas submarinas (A) e uma embarcação de extracção de areias afundada (B).



Modelo tridimensional de uma zona adjacente à Madalena do Mar onde é perfeitamente visível o impacto da extracção de areias

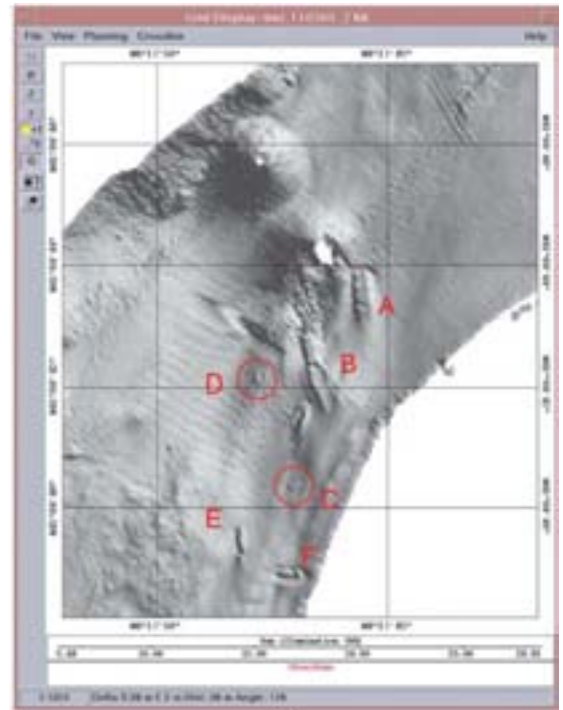


Na sequência da queda da ponte Hintze Ribeiro, em Castelo de Paiva, em Março de 2001, o IH realizou levantamentos multifeixe e com sonar lateral, de forma a efectuar a detecção das viaturas sinistradas. Os trabalhos foram muito dificultados devido a:

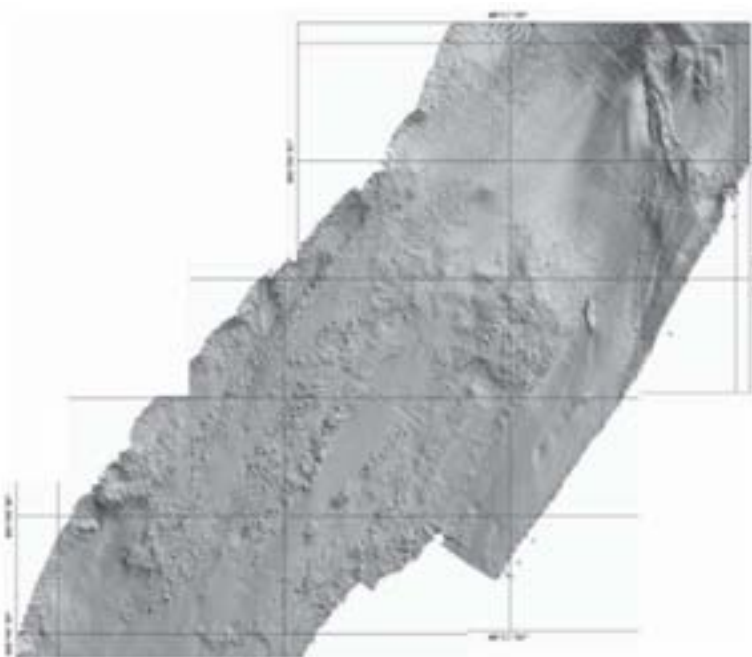
- chuvas intensas;
- fortes correntes (por vezes superiores a 7 nós) impossíveis de controlar nos primeiros dias em virtude das barragens estarem na sua capacidade máxima;
- água barrenta sem visibilidade;
- margens formadas por fundos baixos e com obstruções (rochas, ramos e troncos de árvores).
- existência de vários objectos à deriva;
- desconhecimento do fundo real em virtude das várias dragagens efectuadas;
- anormal nível das águas;
- existência de outros objectos no leito do rio (grua, batelão, motocicleta) não cartografados.

A selecção de contactos para identificação por métodos visuais foi baseada em:

- análise dos dados recolhidos com o multifeixe;
- análise dos dados recolhidos com o sonar lateral;
- cruzamento de dados conjuntamente com os dados de corrente e com as declarações de testemunhas.

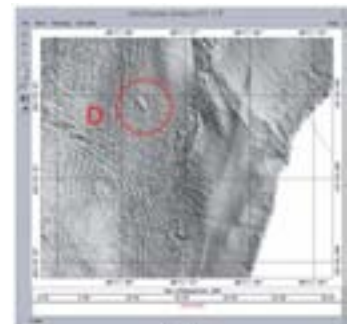


Modelo tridimensional da zona envolvente à ponte

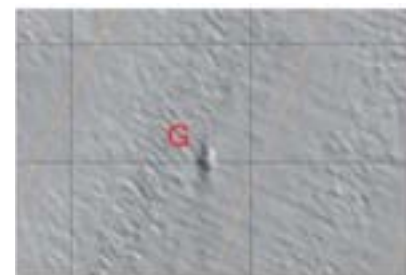


Em Entre-os-rios a selecção dos ecos para identificação visual foi muito dificultada pelas características rochosas do fundo

- A Pilar caído.
- B Tabuleiro da ponte.
- C Grua.
- D Automóvel.
- E Batelão.
- F Autocarro.
- G Automóvel.



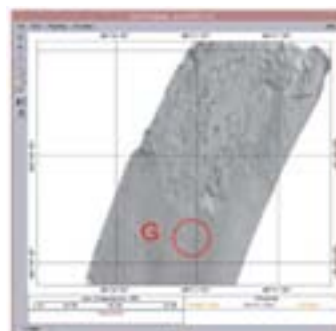
Pormenor do primeiro automóvel a ser identificado



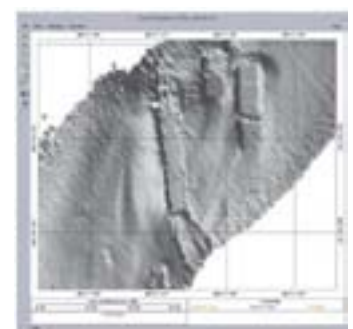
Pormenor do segundo automóvel



Pormenor do batelão e da grua vistos a partir dos dados de reflectividade

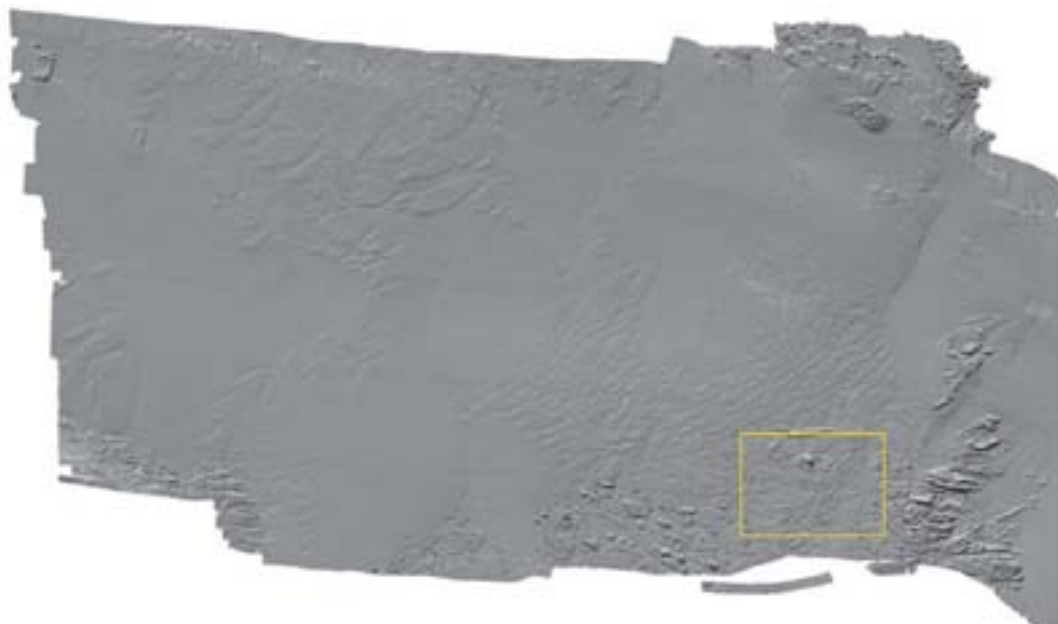


Localização do segundo automóvel



Pormenor do pilar e parte do tabuleiro da ponte que cederam

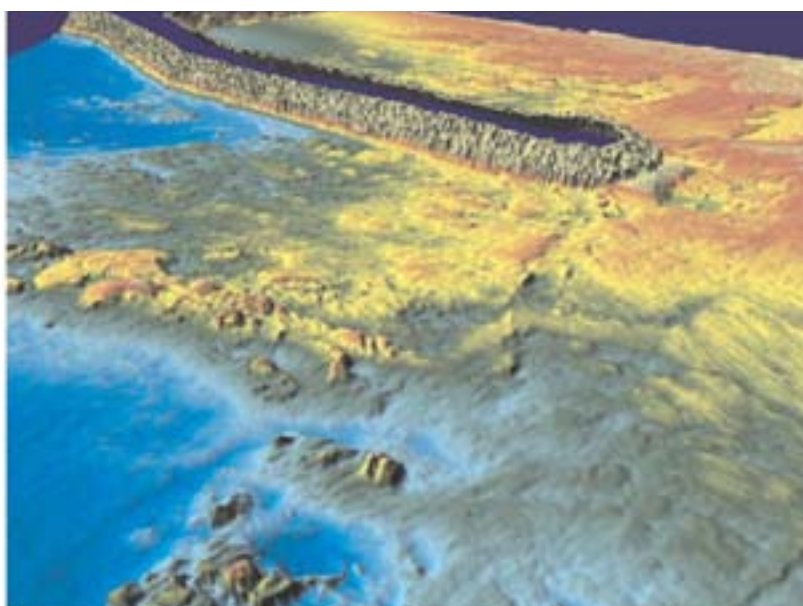
Em Setembro de 2003, uma aeronave caiu ao mar na costa norte da Ilha da Madeira. As buscas realizadas em conjunto com uma equipa da Divisão de Geologia Marinha operando o sonar lateral não produziram os resultados esperados, nomeadamente devido à situação particular do fundo, constituído fundamentalmente por estruturas rochosas, e devido às condições de mar adversas. No entanto, este trabalho serviu uma vez mais para avaliar a portabilidade do SMF SIMRAD EM 3000.



Modelo tridimensional visto de topo de parte da área sondada



Ampliação da área assinalada a amarelo na figura anterior que evidencia as características rochosas do fundo. Por curiosidade, o objecto dentro do círculo vermelho teria as dimensões da aeronave sinistrada

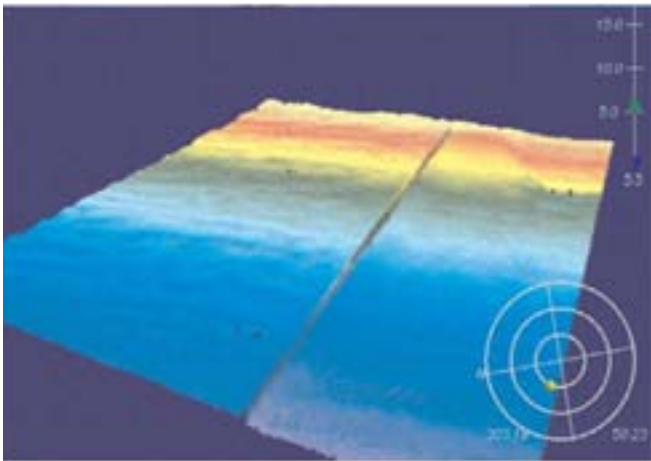


Modelo tridimensional do fundo da Lage da Borboleta e do prolongamento efectuado ao molhe leste de Sines (Julho 2003). Em 2000, o IH tinha realizado um LH a multifeixe de forma a definir a situação zero, antes do arranque das obras

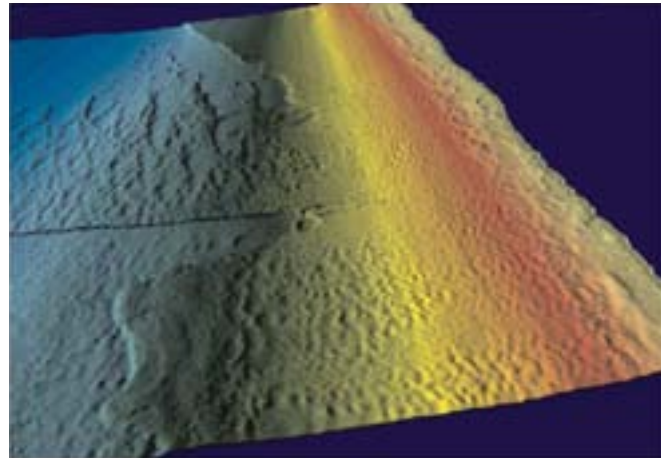


Modelo tridimensional do fundo do molhe oeste de Sines

No âmbito do protocolo assinado entre o IH e a Administração do Porto de Sines, foi realizado um estudo de dinâmica sedimentar da zona costeira e plataforma interna envolventes ao porto de Sines. Esta solicitação surgiu da necessidade de conhecer os impactos no trânsito sedimentar induzidos pela construção do novo molhe do porto. Pretendeu-se assim caracterizar o trânsito sedimentar a norte e a sul daquela estrutura, em diferentes situações oceanográficas e efectuar um balanço final. Para o efeito, além de outros trabalhos, foram realizados cinco levantamentos em diferentes alturas do ano de forma a caracterizar as cinco áreas escolhidas como representativas: Praia do Norte, Praia de S. Torpes, Praia da Samouqueira, Envolvente ao Molhe Oeste e Envolvente ao Molhe Leste.



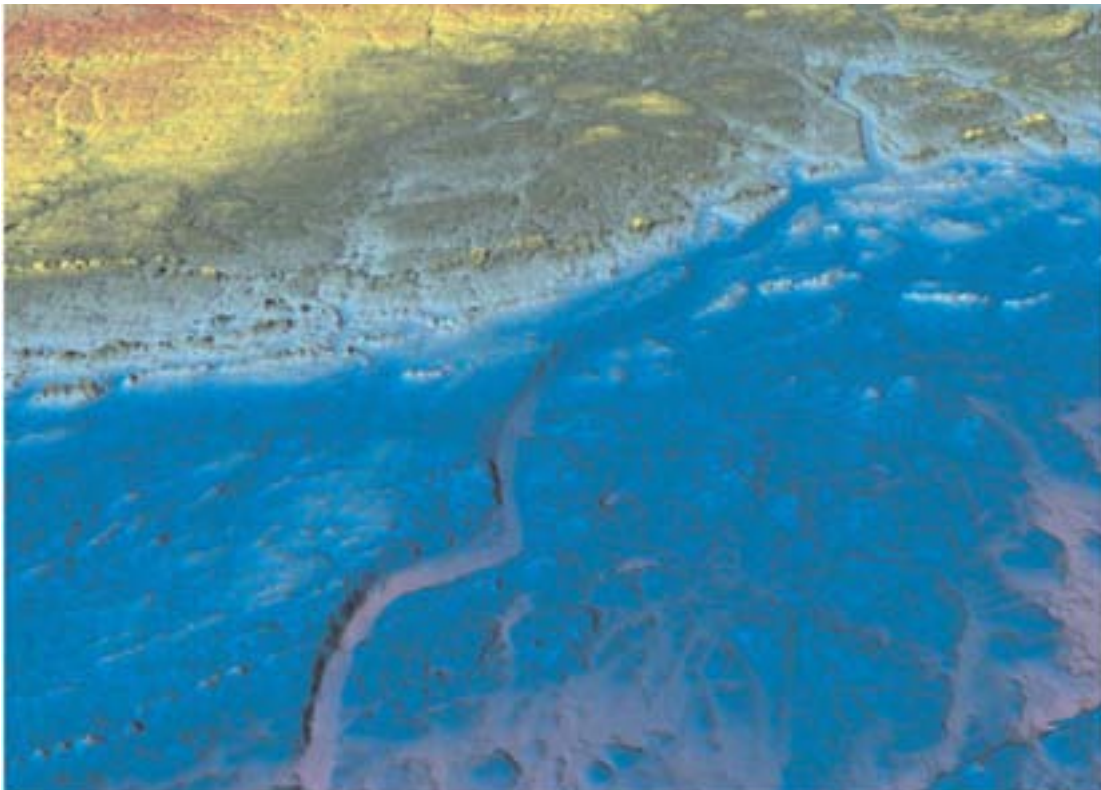
Pormenor do exutor submarino localizado na Praia do Norte, em Sines



Dos levantamentos hidrográficos evidencia-se a detecção do exutor submarino, perpendicular à praia, e de uma camada de sedimentos em movimentação, um corpo arenoso com cerca de 1 m de altura e no qual se registam variações morfológicas entre os levantamentos, nomeadamente na alteração do limite do corpo sedimentar e desaparecimento de lamina sedimentares.

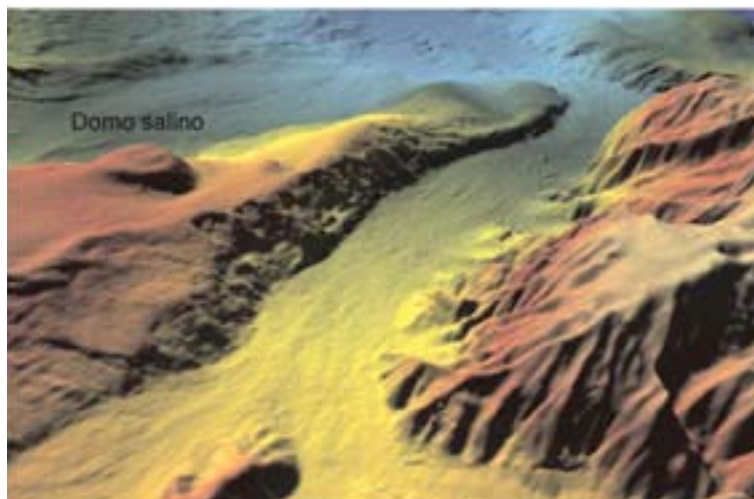
É ainda de salientar a existência, a N do exutor, de estruturas sedimentares alongadas, tipo «sand waves», entre os 13 e os 23 m de profundidade com direcção NNE – SSW. Verificou-se que a extensão e largura deste campo de estruturas diminui entre os levantamentos de Março e Setembro.

A sul do exutor submarino, cuja morfologia associada à estrutura altera a N e a S do mesmo, provocando efeito de barreira à deriva dos sedimentos ao longo da costa, verifica-se o afloramento de uma camada sub-horizontal de argilitos, possivelmente tratando-se de um antigo terraço litoral.



Aspecto submarino da Ribeira de S. Torpes

Imagens digitais do levantamento batimétrico a sul da costa do Algarve realizado em Junho e Julho de 2004, no NRP «Carlos I», no âmbito do projecto MATESPRO.



Pormenor de um domo salino e do canhão de Faro

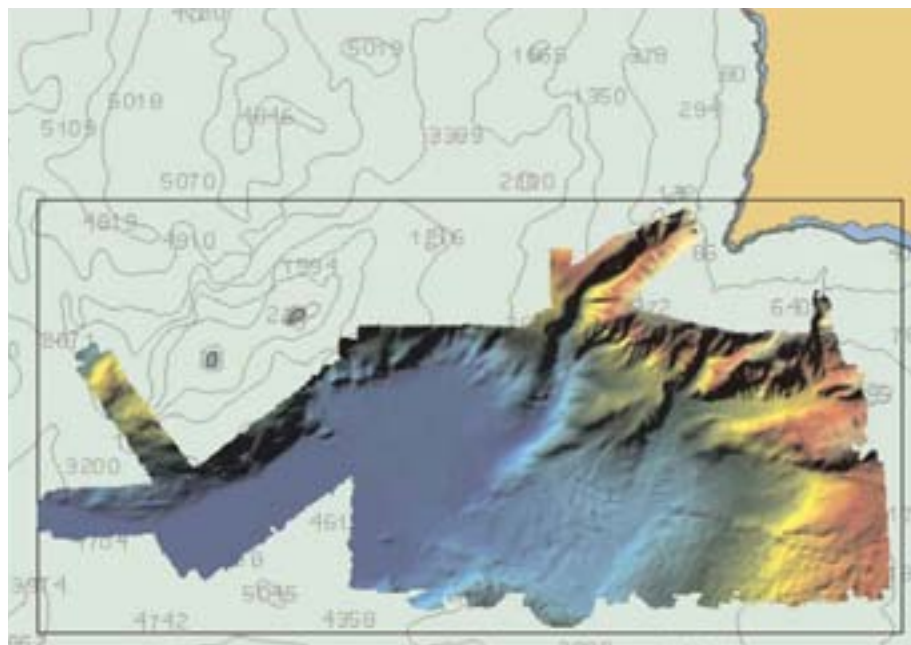


Imagem geral do LH, vista de topo



Imagem digital do levantamento batimétrico na costa oeste do continente, no âmbito do projecto IBERTORE

Transporte sedimentar num perfil de praia. Validação de um modelo matemático

Sérgio H. C. D. Larangeiro, ENGENHEIRO DO AMBIENTE

Instituto Hidrográfico – Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa, Portugal. E-mail: sergio.larangeiro@hidrografico.pt

Filipa S. F. B. Oliveira, DOUTORA EM ENGENHARIA COSTEIRA

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) – Av. Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, E-mail: foliveira@lneec.pt

Rui P. M. Taborda, DOUTOR EM GEOLOGIA MARINHA

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa FCUL/LATTEX – Campo Grande Ed. C2, 1749-016 Lisboa; E-mail: rtaborda@fc.ul.pt

Raquel Silva, ENGENHEIRA FÍSICA

Instituto Hidrográfico – Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa, Portugal. E-mail: raquel.silva@hidrografico.pt

Resumo O modelo TRANSED baseia-se na determinação de taxas de transporte sedimentar médias, referidas ao período da onda, em função da intensidade dos mecanismos forçadores (ondas e correntes), do tipo de fundo (plano ou coberto por formas de fundo) e das características das partículas sedimentares. O modelo permite aplicar os métodos mais utilizados na descrição da camada limite de fundo em escoamentos combinados, na previsão das formas de fundo, e na quantificação dos parâmetros: concentração de referência e em suspensão, e transporte de fundo e em suspensão. O desenvolvimento do modelo TRANSED insere-se no Projecto MOCASSIM, presentemente a decorrer no Instituto Hidrográfico.

Realizou-se uma análise comparativa dos modelos TRANSED e LITSTP/LITDRIFT (do pacote LITPACK), com vasta aplicação em estudos de dinâmica sedimentar a nível mundial, que consistiu na aplicação de ambos os modelos ao trecho da costa central Oeste Portuguesa entre a Praia da Vieira e a Praia Velha, com o objectivo de quantificar a distribuição do transporte longitudinal, de fundo e em suspensão, ao longo de um perfil transversal de praia considerado representativo do trecho de costa em estudo.

No modelo TRANSED destaca-se a clara predominância do transporte em suspensão sobre o transporte de fundo, com parte significativa do transporte a ocorrer dentro da zona de rebentação. Ao considerar-se o clima de agitação representado pela onda média anual, obteve-se uma boa concordância entre as estimativas do transporte médio anual dos modelos TRANSED e LITSTP/LITDRIFT: 485×10^3 e 647×10^3 m³.ano⁻¹, respectivamente.

Abstract *The Model TRANSED is based on the determination of the mean sediment transport rate on the intra-wave period and depends on the forcing mechanisms wave and current, the bottom type (with bed forms or flat) and the sediment particle characteristics. The model allows applying the most used methods in the description of the combined wave and current bottom boundary layer and bed forms and in the computation of the parameters: reference concentration, suspended concentration and bed-load and suspended-load transport. The model is being developed under the framework of the project MOCASSIM that is presently in progress in Instituto Hidrográfico.*

A comparative analysis between the models TRANSED and LITSTP/LITDRIFT (of the package LITPACK), which has been extensively applied in sediment dynamics studies worldwide, was done based on the computation of the longshore bed-load and suspended-load transport distributions along a cross-shore beach profile considered representative of the Portuguese West coastal sector between Praia da Vieira and Praia Velha.

The results from TRANSED model reveal that inside the surf zone, where the majority of the transport occurs, suspended-load transport predominates over bed-load transport. When the wave climate is represented by the mean annual wave, the mean annual transport computed from both models shows a rather good agreement: 485×10^3 and 647×10^3 m³.yr⁻¹ for TRANSED and LITSTP/LITDRIFT models, respectively.

1. Introdução

O transporte sedimentar paralelo à costa é uma grandeza fundamental em inúmeras aplicações em engenharia costeira, contudo a sua determinação não se afigura simples, dada a complexidade dos processos físicos envolvidos, como as interacções não lineares entre escoamentos permanente (correntes) e oscilatório (ondas), os efeitos associados à transformação do campo de ondas (e.g. assimetria da onda, e reben-

tação), a variação do nível médio do mar devido às marés e sobrelevação de origem meteorológica, a morfologia dos fundos costeiros (declive médio e formas de fundo) e ainda as características do sedimento.

Nas últimas décadas, os modelos numéricos têm-se afigurado como instrumentos particularmente úteis no estudo de sistemas naturais, caracterizados pela ocorrência de um elevado número de interacções simultâneas entre os vários processos envolvidos. A introdução de esquemas mais rigorosos e detalhados de resolução

numérica das equações governantes e de descrições matemáticas fundamentadas no conhecimento mais aprofundado da física dos fenómenos, permitiram à modelação matemática assumir-se como um instrumento fundamental para o avanço do conhecimento científico sobre o fenómeno do transporte sedimentar.

Apesar dos avanços alcançados, actualmente não existem modelos hidrodinâmicos que descrevam a estrutura dos escoamentos turbulentos em torno dos grãos de sedimento e das formas de fundo, com o grau de detalhe necessário para quantificar rigorosamente o transporte sedimentar e prever com confiança a evolução da morfologia dos fundos e da hidrodinâmica dos sistemas costeiros. Esta dificuldade em abordar directamente um fenómeno tri-dimensional tão complexo, conduziu à sua separação em componentes direccionais (longitudinal e transversal), e em componentes associadas ao modo de transporte das partículas sedimentares (de fundo e em suspensão), que não sendo independentes entre si, são na prática abordadas como tal, justificando-se este procedimento nas diferenças substanciais que apresentam ao nível dos processos morfodinâmicos e das escalas de resolução espaciais e temporais envolvidas.

A separação do transporte em componentes permitiu isolar e estudar detalhadamente determinados processos essenciais, aumentar significativamente a compreensão da física envolvida, e quantificar o transporte sedimentar através da utilização de um número inferior de dimensões. Contudo, esta abordagem tem-se revelado insuficiente para se alcançar uma descrição integrada e unificada do fenómeno global do transporte sedimentar.

Presentemente, os processos relevantes em cada componente do transporte estão ainda fortemente dependentes da adopção de modelos interpretativos da física do sistema natural, baseados em formulações empíricas, que quantificam os parâmetros morfodinâmicos do transporte sedimentar, em função de parâmetros hidrodinâmicos e morfológicos conhecidos.

Os modelos empíricos de tratamento matemático simples assumem um inegável interesse prático, contudo a sua aplicação envolve algumas dificuldades: (1) limitações no domínio de aplicabilidade; (2) parâmetros fortemente dependentes do cenário ambiental onde foram estabelecidas; (3) importantes dissimilaridades de resultados entre as formulações; (4) incerteza na definição precisa de certos parâmetros fundamentais; e (5) escassez de estudos comparativos entre as formulações empíricas que quantificam os mesmos parâmetros morfodinâmicos. Este cenário, sugere a necessidade de serem adoptados modelos numéricos que permitam aplicar as formulações mais adequadas para cada processo em função das características morfodinâmicas prevalentes no ambiente em estudo.

O modelo TRANSED (TRANsporte SEDimentar na plataforma), é um modelo numérico unidimensional

que determina a magnitude e direcção das taxas médias, referidas ao período da onda, do transporte sedimentar de fundo e em suspensão e, através da soma vectorial destas componentes, do transporte sedimentar total, resultantes da acção combinada dos mecanismos hidrodinâmicos forçadores, ondas e correntes, sobre um fundo de partículas sedimentares, com inclinação variável, que pode ser plano ou estar coberto por formas de fundo (TABORDA, 2000). A estrutura do modelo assenta numa filosofia modular, em que cada módulo calcula especificamente um dos parâmetros fundamentais na determinação do transporte sedimentar, disponibilizando ao modelador diferentes algoritmos de cálculo, que incluem as abordagens mais conhecidas e utilizadas e, nalguns casos, novas soluções para problemas específicos (TABORDA, 2000).

O desenvolvimento do modelo TRANSED insere-se num projecto de carácter mais vasto, designado de Projecto MOCASSIM (desenvolvimento das competências nacionais para a implementação de Modelos Oceanográficos de ASSIMilação de dados), a decorrer actualmente no Instituto Hidrográfico.

Este estudo teve como objectivo simular o transporte sedimentar longitudinal no trecho da costa central Oeste Portuguesa entre a Praia da Vieira e a Praia Velha (figura 1). Vem na sequência do estudo apresentado por LARANGEIRO *et al.* (2004), no qual foi avaliada a capacidade de duas metodologias de implementação do modelo TRANSED preverem correctamente as alterações do padrão do transporte sedimentar, de fundo e em suspensão, na direcção da corrente de deriva litoral, causadas pela variação das condições hidrodinâmicas em quatro pontos estratégicos da zona activa de um perfil de praia, que se considerou repre-



Figura 1 – Área de estudo e localização do perfil transversal de praia P14

sentativo da totalidade do trecho de costa em estudo. Pretende-se agora aplicar, a toda a extensão do mesmo perfil, a metodologia que se revelou mais adequada às condições hidrodinâmicas da zona litoral, de modo a obter a distribuição do transporte sedimentar ao longo de toda a extensão do perfil de praia. A validação do modelo, aplicada segundo a metodologia proposta neste estudo, é feita através da comparação de resultados com o modelo LITSTP/LITDRIFT (LITtoral non-choesive Sedi-ment TransPort in combined wave and current/longshore current and LITtoral DRIFT), do pacote LITPACK (LITtoral PACKage modelling system), desenvolvido pelo Danish Hydraulic Institute, DHI (DHI, 2003).

Devido à inexistência de dados de campo, que permitissem validar os resultados do modelo, optou-se por utilizar como referência o modelo LITSTP/LITDRIFT, por se tratar de um modelo que tem sido aplicado com sucesso em inúmeros casos de estudo. Contudo, não se pretendeu fazer uma comparação exaustiva entre os dois modelos, mas antes identificar os pontos de concordância e discordância entre as suas previsões, e, consequentemente, identificar os processos para os quais a análise das diferentes formulações permita melhorar a abordagem matemática do modelo TRANSED. Como o modelo LITSTP/LITDRIFT já foi inúmeras vezes referenciado na literatura, a sua descrição não será aqui abordada.

Na secção seguinte é feita uma breve descrição da área de estudo. Na secção 3, indicam-se as principais formulações utilizadas na implementação do modelo TRANSED. Na secção 4, faz-se a descrição do método utilizado. Na secção 5, apresentam-se, de forma crítica, os principais resultados obtidos: a estimativa do transporte longitudinal anual no trecho de costa considerado, a distribuição transversal do transporte longitudinal de fundo, q_b , e em suspensão, q_s , e do transporte total resultante, q_t . Na secção 6, sumarizam-se os resultados relevantes obtidos neste estudo.

2. Área de estudo

A área de estudo (figura 1) situa-se entre a Praia da Vieira (a Sul da foz do Rio Lis) e a Praia Velha (a Norte da embocadura da Ribeira de Moel). A linha de costa tem uma orientação de N21° (N-21°-E). Trata-se de um trecho com isolinhas de batimetria aproximadamente paralelas entre si, de fundo arenoso, sem estruturas marítimas artificiais (como esporões e quebra-mares) e embocaduras de rios. Ao longo do trecho, observa-se a existência de uma barra longitudinal submersa (perfil transversal P14, figura 2), com dimensões que variam entre 3.5-6 m de altura (da fossa à crista) e entre 250-450 m de largura. A crista da barra dista entre 500-650 m da linha de água em nível médio do mar (NM). OLIVEIRA *et al.*, (2004) com base no processamento de dados observados (agitação marítima e morfologia do fundo), e aplicação de modelação matemática (modelo LITDRIFT, do pacote LITPACK), obtiveram para o transporte sedimentar médio anual, neste trecho de costa, o resultado de $1.1 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, dirigido para Sul.

3. Descrição do modelo

O transporte sedimentar resulta do efeito da tensão de corte instantânea junto ao fundo, $\tau_b(t)$ ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$), gerada pela acção combinada das ondas e da corrente permanente. A magnitude e a direcção instantâneas, ao longo do período da onda, desta grandeza fundamental, foram calculadas através do modelo de integração vertical de FREDSE (1984), que descreve a camada limite resultante de um escoamento combinado e resulta da resolução da equação integral da conservação do momento linear segundo as direcções paralela (direcção-x) e

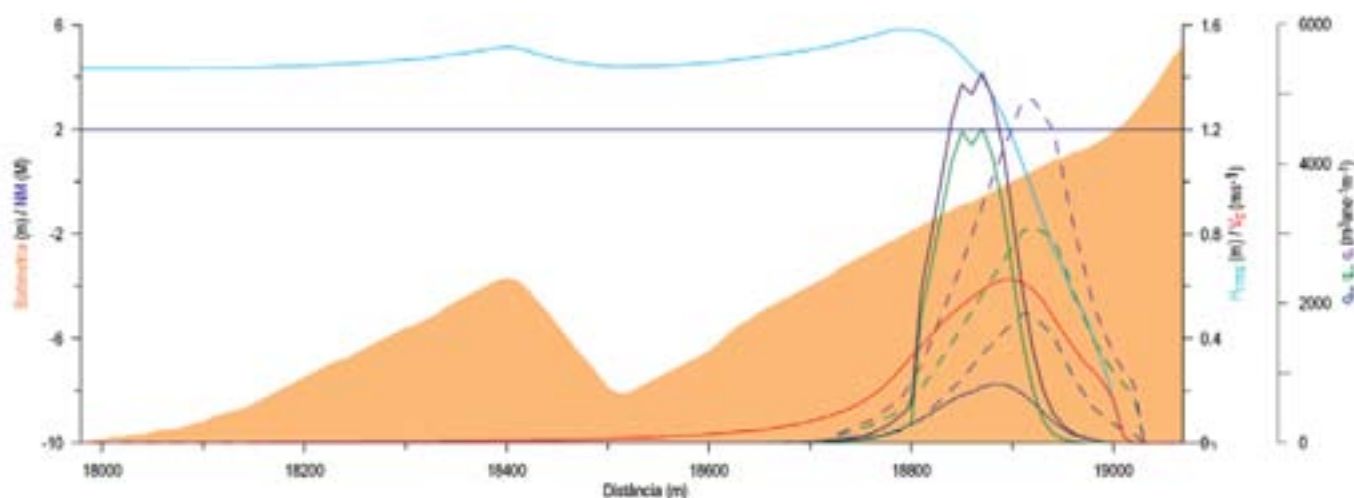


Figura 2 – Variação do transporte longitudinal de fundo, q_b , em suspensão, q_s , e total, q_t , simulados pelos modelos TRANSED (linhas a cheio) e LITSTP/LITDRIFT (linhas a tracejado), da altura de onda, H_{mq} , e da velocidade da corrente de deriva litoral, V_c , ao longo do perfil P14

perpendicular (direcção-y) ao escoamento permanente, Eqs. (1 e 2):

$$\int_{z_0}^{\delta_{wc}+z_0} \rho \frac{d}{dt} (u(t) \cos \phi(t) - u_{\infty}(t) \cos \gamma(t)) dz = -\tau_b(t) \cos \phi(t) + \tau_{wc}(t) \quad (1)$$

$$\int_{z_0}^{\delta_{wc}+z_0} \rho \frac{d}{dt} (u(t) \sin \phi(t) - u_{\infty}(t) \sin \gamma(t)) dz = -\tau_b(t) \sin \phi(t) \quad (2)$$

onde, δ_{wc} = espessura da camada limite ao longo do período da onda (m); z_0 = parâmetro de rugosidade de fundo (m); ρ = massa volúmica da água (kg.m^{-3}); t = instante de tempo (s); $u(t)$ = velocidade instantânea do escoamento combinado no interior da camada limite (m.s^{-1}); $\phi(t)$ = ângulo entre o escoamento instantâneo dentro da camada limite e a corrente média ($^\circ$); $u_{\infty}(t) = u_{bm} \sin(\omega t)$ é a velocidade instantânea do escoamento oscilatório puro, em que: u_{bm} = velocidade orbital máxima fora da camada limite (m.s^{-1}), $\omega = 2\pi/T$ é a frequência angular (rad.s^{-1}), e T = período da onda (s); $\gamma(t)$ = ângulo entre a direcção instantânea das ondas e a direcção da corrente permanente ($^\circ$); z = altura em relação ao fundo marinho (m); e $\tau_{wc}(t)$ = tensão de corte instantânea associada à corrente fora da camada limite (N.m^{-2}).

Como critério de início do transporte sedimentar de fundo, utilizou-se a curva de Shields modificada por MILLER *et al.*, (1977). As formas de fundo dominadas pelas ondas foram calculadas através das formulações propostas por NIELSEN (1981). A taxa de transporte de fundo adimensional, Φ_B , foi determinada através da expressão proposta por ENGELUND e FREDSSØE (1976), Eq. (3):

$$\Phi_B = \frac{30}{\pi \tan(\phi_m)} (\theta' - \theta_{cr}) \left(\sqrt{\theta'} - 0.7 \sqrt{\theta_{cr}} \right) \quad (3)$$

em que, ϕ_m = ângulo de atrito interno ($^\circ$); θ' = parâmetro de Shields em função da tensão de corte efectiva máxima, $\tau'_{bm} = \max |\tau'_b(t)|$, onde $\tau'_b(t)$ = tensão de corte efectiva instantânea junto ao fundo; e θ_{cr} = parâmetro de Shields crítico. O transporte médio segundo a direcção das ondas (x), $\bar{\Phi}_{B,x}$, e perpendicular a estas (y), $\bar{\Phi}_{B,y}$, é calculado através das Eqs. (4 e 5):

$$\bar{\Phi}_{B,x} = \frac{1}{T} \int_0^T \Phi_B (\tau'_b(t) \cos \phi(t)) dt \quad (4)$$

$$\bar{\Phi}_{B,y} = \frac{1}{T} \int_0^T \Phi_B (\tau'_b(t) \sin \phi(t)) dt \quad (5)$$

onde neste caso $\phi(t)$ = ângulo entre o escoamento instantâneo e a direcção das ondas. As taxas volumétricas de transporte de fundo segundo as mesmas direcções, $q_{b,x}$ ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}.\text{m}^{-1}$) e $q_{b,y}$, são obtidas através das Eqs. (6 e 7):

$$q_{b,x} = \bar{\Phi}_{B,x} \cdot \sqrt{(\rho_s - \rho) \rho g D_n^3} \quad (6)$$

$$q_{b,y} = \bar{\Phi}_{B,y} \cdot \sqrt{(\rho_s - \rho) \rho g D_n^3} \quad (7)$$

onde, ρ_s = massa volúmica das partículas sedimentares (kg.m^{-3}); g = aceleração da gravidade (m.s^{-2}); e D_n = diâmetro nominal (m).

O transporte sedimentar médio em suspensão, \bar{q}_s ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}.\text{m}^{-1}$), obtém-se por integração na vertical do fluxo sedimentar médio no tempo correspondente à componente permanente, Eq. (8):

$$\bar{q}_s = \int_{z_R}^h \bar{u}_c(z) \cdot \bar{c}(z) dz \quad (8)$$

em que, $\bar{u}_c(z)$ = velocidade média da corrente; $\bar{c}(z)$ = concentração de sedimento média no tempo; z_R altura de referência (m); e h = altura da coluna de água (m).

O perfil de velocidade, u_c , ao longo da coluna de água, segue o desenvolvimento proposto por MADSEN (1993), Eqs. (9 e 10):

$$u_c = \frac{u_{*cb}}{\kappa} \frac{u_{*cb}}{u_{*m}} \ln \frac{z}{z_0} \quad \text{para } z < \delta_{wc} \quad (9)$$

$$u_c = \frac{u_{*c}}{\kappa} \ln \frac{z}{z_{0a}} \quad \text{para } z > \delta_{wc} \quad (10)$$

onde, u_{*cb} = velocidade de corte associada à corrente no interior da camada limite (m.s^{-1}); κ = constante de Von Kármán (-); u_{*m} = velocidade de corte máxima do escoamento combinado (m.s^{-1}); u_{*c} = velocidade de corte da corrente fora da camada limite onda-corrente (m.s^{-1}); e z_{0a} = rugosidade aparente do fundo (m).

A distribuição da concentração de sedimento em suspensão na coluna de água, é descrita pela equação da conservação do fluxo sedimentar, ou equação de difusão, para escoamentos bidimensionais, Eq. (11):

$$w_s \bar{c}(z) + \varepsilon_s(z) \frac{\partial \bar{c}(z)}{\partial z} = 0 \quad (11)$$

em que, w_s = velocidade de queda do sedimento (m.s^{-1}); e $\varepsilon_s(z)$ = coeficiente de difusão de sedimento para escoamentos combinados ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$); Nesta implementação do modelo TRANSED, a equação da difusão é resolvida numericamente. O coeficiente de difusão para os escoamentos combinados, corresponde à soma dos quadrados dos coeficientes de difusão associados à componente permanente e oscilatória. Na determinação do coeficiente de difusão da componente oscilatória do escoamento, $\varepsilon_{s,w}(z)$, foi utilizada a aproximação empírica de WINYU e SHIBAYAMA (1994), que tem em conta explicitamente o aumento de turbulência gerada pela rebentação, Eq. (12):

$$\varepsilon_{s,w}(z) = \left(k_a u_{*m} + k_b (D_B / \rho)^{1/3} \right) z \quad (12)$$

onde, k_a e k_b , são constantes obtidas por ajustamento a dados experimentais: $k_a = 0.04$; $k_b = 0.144$ (rebentação progressiva), ou $k_b = 0.216$ (transição rebentação progressiva/mergulhante), ou $k_b = 0.450$ rebentação mergulhante); e $D_B = \rho H^3 g / (4Th)$ = taxa de dissipação de energia devido à rebentação (H = altura da onda (m)). Na determinação do coeficiente de difusão asso-

ciado à componente permanente, $\varepsilon_{s,c}(z)$, foi assumida uma variação parabólica constante, Eqs. (13 e 14):

$$\varepsilon_{s,c}(z) = \beta \kappa_{*c} z \left(1 - \frac{z}{h}\right) \quad \text{para } z/h < 0.5 \quad (13)$$

$$\varepsilon_{s,c}(z) = 0.25 \beta \kappa_{*c} h \quad \text{para } z/h \geq 0.5 \quad (14)$$

onde, β = constante de proporcionalidade entre o coeficiente de difusão e a viscosidade turbulenta, v_T , ($\varepsilon_s = \beta v_T$), cujo valor não é consensual, e que no modelo TRANSED é igual à unidade. A concentração de referência no fundo, \bar{c}_R , que é um parâmetro chave para a modelação do sedimento em suspensão, foi calculada através da expressão proposta no modelo LITSTP/LITDRIFT (DHI, 2003), Eq. (15):

$$\bar{c}_R = \left(\frac{2Dc_b}{(1+1/\lambda)^3} + c_n \eta \right) / (\eta + 2D) \quad (15)$$

em que, D = diâmetro das partículas de sedimento (m); η = altura dos *ripples* (m); c_b concentração volumétrica do fundo (-); e λ = comprimento de onda dos *ripples* (m).

4. Método

O modelo TRANSED foi implementado em 84 pontos designados de P65 a P148, posicionados ao longo de um perfil de praia, P14 (figs. 1 e 2), considerado representativo do trecho de costa em estudo, com o objectivo de estimar a distribuição transversal e o valor total do transporte longitudinal, de fundo e em suspensão, neste trecho de costa. Os pontos do perfil de praia distam entre si 10 m e situam-se entre os 8.1 m abaixo do ZH (P65) e 1.9 m acima do ZH (P148). Estes dados topo-hidrográficos foram obtidos de dois levantamentos hidrográficos realizados pelo Instituto Hidrográfico: o primeiro em 1982, compilado na carta náutica n.º 24204 do fólio F94, Aveiro a Peniche, à escala 1:150 000, e o segundo em Outubro de 2003, que correspondeu, especificamente, ao levantamento da face da praia.

Para onda de teste escolheu-se uma onda média teórica correspondente ao clima de agitação marítima ao largo da Figueira da Foz, obtido por uma estação ondógrafo direccional, instalada e mantida pelo Instituto Hidrográfico, localizada aproximadamente a 92 m de profundidade referido ao ZH, durante o período 1990-1996. A onda média (com parâmetros de caracterização estatística: altura média quadrática, $H_{mq} = 1.59$ m, direcção, $\alpha = 307^\circ$ N, e período médio, $T_m = 7.22$ s), foi propagada em direcção à costa por modelação matemática conforme descrito em (OLIVEIRA *et al.*, 2004), onde foram considerados os processos de transformação da onda: refracção, empolamento, rebentação e dispersão direccional do campo de ondas. Na figura 2, observam-se a altura de onda e a intensidade da corrente longitudinal dirigida para Sul ao longo de P14, resultantes do estudo anterior.

Os resultados do transporte longitudinal total em cada ponto, obtidos pelo modelo TRANSED, foram subsequentemente integrados na direcção do perfil, obtendo-se uma estimativa do transporte longitudinal anual em toda a extensão da zona activa do perfil de praia considerado.

5. Resultados e discussão

O transporte longitudinal anual, estimado pelo modelo TRANSED, no perfil de praia P14, é $485 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, dirigido para Sul. Utilizando os mesmos dados hidromorfológicos, o modelo LITSTP/LITDRIFT estimou um transporte longitudinal de $647 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, igualmente dirigido para Sul (OLIVEIRA *et al.*, 2004). Estes resultados evidenciam uma razoável concordância entre as estimativas do transporte total obtidas pelos dois modelos. LARANGEIRO *et al.*, (2004) identificaram que a principal diferença entre os resultados dos modelos se verifica no transporte de fundo, correspondendo a estimativa do modelo TRANSED a cerca de 55% da estimativa do modelo LITSTP/LITDRIFT. Em contrapartida, no caso do transporte em suspensão, observou-se uma boa concordância entre os modelos, verificando-se que o modelo TRANSED quantifica este parâmetro somente 12% abaixo do valor estimado pelo modelo LITSTP/LITDRIFT.

A diferença entre o valor do transporte mencionado na secção 2, $1.1 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, e o mencionado acima, $647 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, ambos obtidos com o modelo LITSTP/LITDRIFT, deve-se à utilização de esquematizações diferentes para o clima de agitação (OLIVEIRA *et al.*, 2004). O primeiro valor corresponde à utilização de 5760 ondas, resultantes da média ponderada (para efeito de frequência de ocorrência) das 54 classes de um histograma da distribuição conjunta dos dados de agitação marítima (18 classes direccionais, de amplitude 10° , 20 classes de altura significativa da onda, H_s , de amplitude 0.5m, e 16 classes de período médio, T_m , de amplitude 1.0s). O segundo valor, tal como anteriormente mencionado, resulta da utilização de uma única onda, a onda média anual, que corresponde à média ponderada dos registos observados que é claramente insuficiente para caracterizar o regime de agitação marítima. Deste modo, os valores apresentados no parágrafo anterior devem ser considerados como indicadores de uma razoável concordância entre os modelos, e como uma estimativa por defeito do transporte que ocorre na zona de estudo.

A figura 2 descreve a variação do transporte sedimentar longitudinal na direcção da corrente de deriva litoral (de fundo, q_b , em suspensão, q_s , e total, $q_t = q_b + q_s$ resultantes dos modelos TRANSED e LITSTP/LITDRIFT), da altura de onda, H_{mq} , e da velocidade da corrente de deriva litoral, V_c , ao longo de toda a extensão do perfil de

praia P14. A figura 3 representa, com maior pormenor, a variação dos parâmetros q_b , q_s , e q_t , resultantes do modelo TRANSED, na secção do perfil de praia compreendida entre a profundidade de 3.6 m referida ao ZH (P120) e a linha de água em NM (P148).

Dos resultados apresentados nas figuras 2 e 3 referentes ao modelo TRANSED, pode-se inferir que o transporte em suspensão predomina claramente sobre o transporte de fundo, correspondendo a cerca de 79% do transporte ao longo de toda a extensão do perfil de praia. Contudo, o transporte de fundo é predominante nas secções do perfil de praia fora da zona de rebentação e junto à linha de água (fig. 3).

A quase totalidade do transporte sedimentar, 96% do transporte ao longo de todo o perfil de praia, ocorre na zona de rebentação (pontos P129 a P140, fig. 3), i.e., numa faixa do perfil de praia com uma extensão horizontal de 110 m situada entre a profundidade de 1.7 m referida ao ZH e a linha de água.

Dentro da zona de rebentação, o pico do transporte sedimentar ocorre na faixa do perfil de praia situada entre os máximos da altura de onda e da corrente de deriva litoral (fig. 2). Esta faixa tem uma extensão horizontal de 70 m, localiza-se entre as profundidades de 1.7 m e 0.4 m, referidas ao ZH, e é responsável por cerca de 70% do transporte longitudinal ao longo de toda a extensão do perfil de praia.

Os dois modelos apresentam várias diferenças na distribuição do transporte longitudinal ao longo do perfil de praia (fig. 2):

- (1) Verifica-se que no modelo TRANSED, os valores máximos do transporte sedimentar, sobretudo o parâmetro q_s e consequentemente q_t , ocorrem a maior profundidade que no modelo LITSTP/LITDRIFT. No modelo TRANSED, como ante-

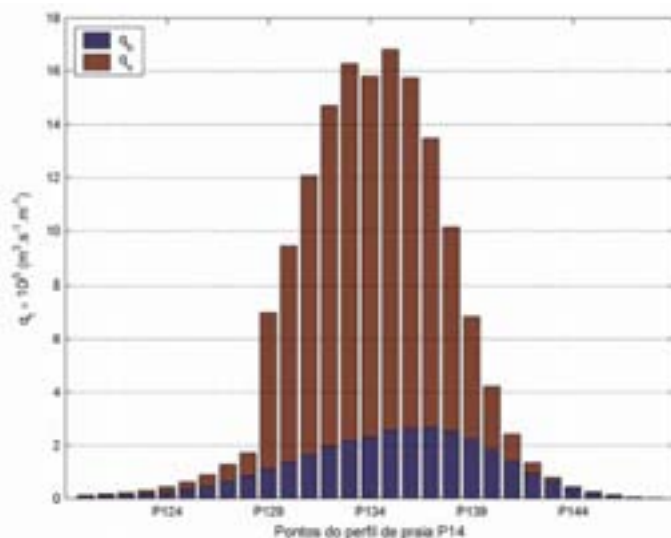


Figura 3 – Transporte sedimentar de fundo, q_b , em suspensão, q_s , e transporte total, q_t ($q_b + q_s$), na secção do perfil de praia situada entre a profundidade de 3.6 m abaixo do ZH (P120) e a linha de água em NM (P148)

riormente referido, os valores de pico do transporte localizam-se na faixa do perfil de praia situada entre os máximos da altura de onda e da corrente de deriva litoral, enquanto que no modelo LITSTP/LITDRIFT, os valores de pico do transporte tendem a ocorrer mais próximo da linha de costa, na zona do perfil de praia situada logo após a ocorrência do pico da corrente de deriva litoral.

- (2) Consta-se que o máximo do transporte de fundo estimado pelo modelo TRANSED, está claramente abaixo do valor estimado pelo modelo LITSTP/LITDRIFT, enquanto que relativamente ao máximo do transporte em suspensão se observa a situação inversa, com o modelo TRANSED a apresentar valores de pico claramente acima dos registados pelo modelo LITSTP/LITDRIFT. No entanto, quando se processa a adição dos parâmetros q_s e q_b , estas diferenças tendem a minimizar-se, resultando dos modelos, valores de pico do transporte total muito idênticos.
- (3) Em ambos os modelos o transporte em suspensão é dominante dentro da zona de rebentação, contudo a importância relativa deste modo de transporte é mais significativa no modelo TRANSED.
- (4) Embora o início do transporte ocorra sensivelmente à mesma profundidade nos dois modelos, o facto do transporte no modelo LITSTP/LITDRIFT se prolongar até à linha de costa, implica que neste modelo a extensão do perfil activo da praia seja superior à que se verifica no modelo TRANSED.

Os modelos TRANSED e LITSTP/LITDRIFT usam metodologias distintas no tratamento do processo de rebentação da onda, determinante na quantificação do coeficiente de difusão por intermédio da viscosidade turbulenta, e logo determinante na quantificação do transporte em suspensão. O primeiro modelo utiliza, na descrição deste processo, a formulação empírica calibrada com dados de campo proposta por WINYU e SHIBAYAMA (1994), enquanto que o segundo utiliza uma descrição determinística, baseada nas equações de balanço, dos diferentes fenómenos indutores da turbulência, onde se inclui a rebentação (DEIGAARD, 1993). Os resultados dos modelos sugerem que, embora ocorram diferenças na distribuição de q_s ao longo do perfil, o valor integrado deste parâmetro é muito idêntico em ambos os modelos, comprovando-se que a utilização de abordagens tão diferentes pode conduzir a resultados semelhantes.

No entanto, ainda subsistem diferenças entre os modelos que requerem uma análise mais pormenorizada, nomeadamente a diferença de magnitudes registada no transporte de fundo ao longo de toda a extensão

do perfil de praia, e no transporte em suspensão na face da praia. As diferenças no transporte de fundo, e dado que a quantificação deste processo em ambos os modelos é feita através de uma abordagem semelhante, fundamentada em relações empíricas, sugerem um aprofundamento da análise comparativa da formulação do processo.

Constata-se, na figura 3, que a onda média teórica não induz transporte longitudinal sobre a barra do perfil de praia. No entanto, com o clima de agitação representado com maior número de componentes (OLIVEIRA *et al.*, 2004), observa-se que a faixa do perfil de praia onde o transporte é significativo se inicia a maiores profundidades, ocorrendo transporte sobre a barra do perfil de praia.

Para se compreender e quantificar correctamente o transporte em suspensão é necessário obter dados de campo que permitam não só quantificar mas também caracterizar do ponto de vista textural e composicional o sedimento que se encontra em suspensão. Este tipo de dados é muito escasso ou mesmo inexistente para a costa Ocidental Portuguesa.

5. Conclusões

O modelo TRANSED é um modelo numérico unidimensional que simula o transporte sedimentar sob a acção combinada de ondas e correntes, na plataforma continental. Tendo por base a acção da onda média teórica ($H_{mq} = 1.59$ m, direcção = 307° N e $T_m = 7.22$ s), representativa do clima de agitação marítima ao largo da Figueira da Foz, obtido por uma estação ondógrafo direccional, localizada aproximadamente a 92 m de profundidade referido ao ZH, durante o período 1990-1996, e dados topo-hidrográficos obtidos de dois levantamentos hidrográficos realizados pelo Instituto Hidrográfico, fez-se uma implementação do modelo TRANSED com o objectivo de simular o transporte sedimentar longitudinal médio anual no trecho de costa central Oeste Portuguesa entre a Praia da Vieira e a Praia Velha. Os resultados foram comparados com os obtidos pelo modelo LITSTP/LITDRIFT (do pacote LITPACK).

O transporte longitudinal anual, estimado pelo modelo TRANSED, num perfil de praia representativo do trecho de costa em estudo, foi de $485 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, dirigido para Sul.

O transporte em suspensão predomina claramente sobre o transporte de fundo, correspondendo a cerca de 79% do transporte ocorrido ao longo de toda a extensão do perfil de praia. Antes de se iniciar a rebentação o transporte sedimentar faz-se predominantemente por arrastamento. A turbulência gerada pela rebentação das ondas aumenta consideravelmente a concentração de sedimentos em suspensão, sendo o seu transporte intensificado pela presença da corrente de deriva litoral.

Dentro da zona de rebentação, onde ocorre 96% do transporte, o pico do transporte sedimentar ocorre

numa estreita faixa do perfil de praia, com cerca de 70 m, situada entre os máximos da altura de onda e da corrente de deriva litoral.

Tendo-se comparado os resultados do modelo TRANSED com os resultados do modelo LITSTP/LITDRIFT, observou-se uma concordância razoável, sendo o transporte total obtido com o modelo LITSTP/LITDRIFT cerca de 33% superior.

Este estudo permitiu concluir que o modelo TRANSED, aplicado conforme a metodologia descrita, é um instrumento que permite estimar o transporte sedimentar costeiro com um bom grau de confiança, pelo que se deve prosseguir no sentido de melhorar a sua formulação e estender a sua validação a dados de campo e outros modelos matemáticos.

Agradecimentos

Este estudo foi elaborado no âmbito do Projecto MOCASSIM a decorrer no Instituto Hidrográfico e financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

Bibliografia

- DHI, «LITPACK – Noncohesive Sediment Transport in Currents and Waves, LITSTP/LITDRIFT User Guide», Danish Hydraulic Institute, Denmark, 2003.
- ENGELUND, F.; FREDSSØE, J. – «A sediment transport model for straight alluvial channels», *Nordic Hydrology* 7, 1976, pp. 293-306.
- FREDSSØE, J. – «Sediment Transport in Current and Waves», *Institute of Hydrodynamics and Hydrologic Engineering*, Technical University of Denmark (Lyngby), Series Paper, 35, 1984.
- LARANGEIRO, S.H.C.D.; OLIVEIRA, F.S.B.F.; SILVA, R.; TABORDA, R. – «Dinâmica Sedimentar do Trecho Litoral Praia da Vieira – Praia Velha. Caracterização de Parâmetros morfo-dinâmicos», in *7.º Congresso da Água*, APRH, Mar. 2004.
- MADSEN, O.S. – *Sediment transport outside the surf zone*. Technical Report, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 1993. (relatório não publicado).
- MILLER, M.C.; MCCAIVE, I.N.; KOMAR, P.D. – «Threshold of sediment movement under unidirectional currents», *Sedimentology*, 24, 1977, pp. 202-214.
- NIELSEN, P. – «Dynamics and geometry of wave generated ripples», *Journal of Geophysical Research*, 86, 1981, pp. 6467-6472.
- OLIVEIRA, F.S.B.F.; OLIVEIRA, T.C.A.; SILVA, R.; LARANGEIRO, S.H.C.D. – «Dinâmica Sedimentar do Trecho Litoral Praia da Vieira Praia Velha. Hidrodinâmica e transporte longitudinal de sedimentos», in *7.º Congresso da Água*, APRH, Mar. 2004.
- TABORDA, R. – *Modelação da Dinâmica Sedimentar na Plataforma Continental Portuguesa*. Tese de Doutoramento, Univ. Lisboa, 2000. (não publicada).
- WINYU, R.; SHIBAYAMA T. – «Suspended sediment concentration profiles under non-breaking and breaking waves», in *Proceedings of the 24th Coastal Engineering Conference*, ASCE, 1994, pp. 2813-2827.

Estimação dos Erros dos Sondadores Multifeixe

Fernando Artilheiro, CAPITÃO-TENENTE

Fernando Pimentel, CAPITÃO-DE-FRAGATA

João Vicente, PRIMEIRO-TENENTE

PALAVRAS CHAVE: Sondador, multifeixe, hidrografia.

Resumo A evolução dos sondadores acústicos e das técnicas utilizadas em hidrografia, nomeadamente os sondadores multifeixe (SMF), contribuí para a renovação e actualização dos padrões de exactidão a seguir na realização dos levantamentos hidrográficos (Organização Hidrográfica Internacional – OHI, publicação especial S-44).

A OHI, através da publicação S-44, recomenda o desenvolvimento de balanços de erros para a medição da profundidade e respectivo posicionamento para os diferentes sistemas de sondagem utilizados nos levantamentos hidrográficos. Neste sentido, foram desenvolvidos modelos de estimação dos erros dos SMF.

Este artigo apresenta uma estimação e análise dos erros na medição da profundidade para os sistemas sondador multifeixe em operação no Instituto Hidrográfico.

Abstract *The evolution of both echosounders and techniques used in hydrography, namely multibeam echosounders (MBES), contributed to renew and update the standards followed in hydrographic surveys (International Hydrographic Organization - IHO, special publication S-44).*

The IHO, on the abovementioned publication, recommends depth and positioning error budget development for surveying systems used in hydrographic surveys. According to this orientation, error models were developed for multibeam echosounders.

This paper presents the depth error estimation and analysis for multibeam echosounders operated by the Instituto Hidrográfico.

1. Introdução

No final da década de 1990 os sondadores multifeixe (SMF) passaram a ser utilizados pelo Instituto Hidrográfico, de forma frequente, na cobertura sistemática dos fundos submarinos.

Inicialmente a sua utilização destinava-se principalmente à actualização cartográfica em fundos baixos. No entanto, a elevada resolução destes sistemas levou à sua utilização mais generalizada em estudos científicos, com o objectivo de localizar e identificar estruturas submarinas nos domínios da geologia e da geofísica, de elevado interesse para a comunidade científica nacional.

A utilização destes sondadores em levantamentos hidrográficos requer a avaliação do erro na determinação da profundidade em diferentes condições de operação, conforme recomendação da publicação S-44 «IHO Standards for Hydrographic Surveys» [OHI, 1998].

Este artigo apresenta a metodologia utilizada para estimação do erro na determinação da profundidade reduzida para os sistemas SMF Kongsberg Simrad

EM3000, EM950 e EM120 em operação no IH, com as configurações actuais com sensores inerciais e integração de informação GPS para a determinação dos movimentos da plataforma, assim como os resultados dessa estimação em condições médias de operação. O posicionamento é efectuado através de GPS em modo diferencial, o sistema EM3000 tem ainda capacidade de posicionamento mais exacto através de GPS geodésico (OTF/RTK).

2. Princípio da medição de profundidade dos sondadores multifeixe

Os sondadores multifeixe efectuam a medição da profundidade ao longo de uma faixa do fundo, correspondendo cada medição a um feixe, isto é, a um ângulo de sítio relativamente à vertical, para bombordo e para estibordo do transdutor, num sector angular efectivo de 120°.

O sondador multifeixe efectua, regra geral, a transmissão de um impulso acústico com grande abertura

bombordo-estibordo e pequena abertura proa-popa. Durante a recepção, ao invés, são formados vários feixes¹ com grande abertura proa-popa e pequena abertura bombordo-estibordo, por forma a garantir, em condições normais de operação a intersecção entre os vários feixes formados na recepção com a área insonificada pelo feixe transmitido, ou seja, a intersecção entre o feixe transmitido e o fundo.

Na recepção, cada feixe é formado numa direcção pré-definida por forma a assegurar alguma sobreposição com os feixes adjacentes, garantindo, assim, optimização da cobertura do fundo. Para cada feixe é medido o intervalo de tempo entre a transmissão e a respectiva recepção.

Conhecendo o intervalo de tempo entre a transmissão e a recepção, o ângulo do feixe e o perfil de velocidade de propagação do som na coluna de água, é possível calcular o afastamento transversal e vertical do ponto do fundo correspondente ao eco detectado.

Assim, considerando a medição da profundidade a partir de uma plataforma estática, os erros resultariam apenas das contribuições do:

- erro no ângulo do feixe;
- erro no algoritmo utilizado na determinação do instante de chegada do eco;
- erro no perfil de velocidade de propagação do som na água.

No entanto, durante um levantamento hidrográfico a medição da profundidade é efectuada a partir de uma plataforma dinâmica. A posição e a profundidade têm de ser corrigidas dos movimentos da plataforma no instante da transmissão, da recepção ou em ambas. O erro na medição da profundidade, nestas condições, dependerá também das seguintes componentes:

- erro na medição do balanço transversal (balanço/roll);
- erro na medição do balanço longitudinal (cabeceio/pitch);
- erro na medição do deslocamento vertical (arfaagem/heave);
- erro na medição da maré;
- variação do calado.

A determinação dos erros do multifeixe deve ser efectuada no referencial local, sistema de coordenadas local. Nesse sentido, é necessário proceder à conversão de coordenadas do referencial da embarcação no qual são efectuadas as observações dos ângulos dos feixes e do tempo de trajecto do sinal, para posterior conversão em profundidade (z) e em distância transversal (y).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_L = \begin{bmatrix} (\cos(\alpha)\cos(\theta_R) + \sin(\alpha)\sin(\theta_P)\sin(\theta_R)) \cdot R\sin(\beta) + (-\cos(\alpha)\sin(\theta_R) + \sin(\alpha)\sin(\theta_P)\cos(\theta_R)) \cdot R\cos(\beta) \\ (-\sin(\alpha)\cos(\theta_R) + \cos(\alpha)\sin(\theta_P)\sin(\theta_R)) \cdot R\sin(\beta) + (\sin(\alpha)\sin(\theta_R) + \cos(\alpha)\sin(\theta_P)\cos(\theta_R)) \cdot R\cos(\beta) \\ \cos(\theta_P)\sin(\theta_R) \cdot R\sin(\beta) + \cos(\theta_P)\cos(\theta_R) \cdot R\cos(\beta) \end{bmatrix} \quad (1)$$

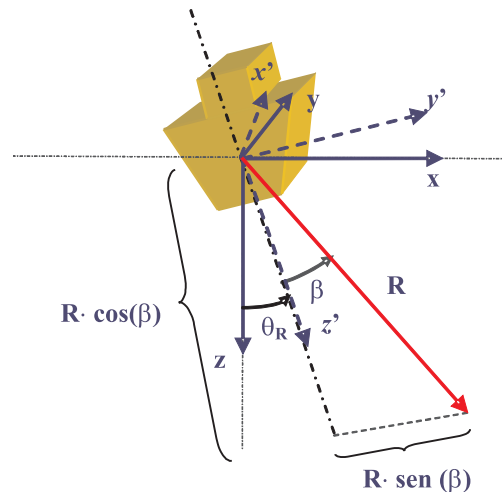


Figura 1 – Esquema dos referenciais local (x, y, z) e da embarcação (x', y', z')

No desenvolvimento do balanço de erros considera-se que o sistema de coordenadas da embarcação corresponde a um referencial tri-ortogonal de mão direita, apontando o eixo dos xx para a proa o eixo dos yy para estibordo e o eixo dos zz para baixo. O sistema de coordenadas local corresponde a um referencial tri-ortogonal de mão esquerda, apontando o eixo dos xx para Leste, o eixo dos yy para Norte e o eixo dos zz para baixo.

O sensor de movimentos determina: o balanço/roll (θ_R), deslocamento angular segundo o eixo longitudinal (xx) referido à vertical do lugar (este ângulo é positivo quando o estibordo entra dentro de água); o cabeceio/pitch (θ_P), deslocamento angular segundo o eixo transversal (yy) referido à vertical do lugar (este ângulo é positivo quando a proa entra dentro de água) e a arfaagem/heave (h) deslocamento vertical da embarcação referido ao nível médio instantâneo (este deslocamento é positivo quando a embarcação se encontra abaixo do nível instantâneo).

A proa (α), deslocamento angular segundo o eixo vertical (zz) referido ao Norte geográfico, é, nos sistemas sondador multifeixe, usualmente determinada através de duas antenas GPS instaladas numa linha base. Dois receptores GPS e uma unidade de integração da informação permitem determinar a direcção da proa com uma exactidão superior à exactidão das girobússolas.

Assumindo e as convenções anteriores para os referenciais e para a atitude da embarcação, é possível transformar, através de 3 matrizes de rotação, as medições efectuadas no referencial da embarcação, isto é distância oblíqua entre o transdutor e o fundo (R) e o ângulo do feixe (β) para o referencial local (x, y, z), através da equação (1) (vide Anexo A).

¹ Estes feixes são formados electronicamente com recurso a técnicas de processamento de sinal.

3. Requisitos de exactidão para os levantamentos hidrográficos

Os levantamentos hidrográficos devem cumprir os requisitos da Organização Hidrográfica Internacional, constantes da publicação S-44, 4.^a edição, 1998. Na medição da profundidade o erro máximo admissível é definido para um nível de confiança de 95%, sendo a exactidão dependente da ordem do levantamento.

O erro máximo admissível na profundidade reduzida é obtido pela equação (2):

$$\varepsilon_{\max 95\%}(z) = \sqrt{a^2 + (b \cdot z)^2}, \quad (2)$$

onde as constantes a e b são uma função da ordem do levantamento, conforme Tabela 1.

	Ordem Especial	Ordem 1	Ordem 2	Ordem 3
Exactidão das profundidades reduzidas	a = 0.25 m	a = 0.5 m	a = 1.0 m	a = 1.0 m
(95% nível de confiança)	b = 0.0075	b = 0.013	b = 0.023	b = 0.023

Tabela 1 – Requisitos básicos de exactidão dos Levantamentos Hidrográficos (S-44, 4.^a edição)

4. Desenvolvimento do balanço de erros para os sondadores multifeixe

Para efeito do presente estudo consideram-se as seguintes fontes de erro devido:

- às medições efectuadas pelo sondador multifeixe, nomeadamente ângulo do feixe formado durante a recepção e intervalo de tempo entre a transmissão e a recepção;
- à variação do perfil de velocidade de propagação do som na água;
- aos movimentos da plataforma de sondagem;
- à redução da maré.

Neste capítulo, é efectuada uma análise de cada uma destas fontes de erro e calculado o erro em profundidade de cada uma dessas componentes.

4.1. Erros inerentes ao sondador

Um sondador batimétrico de cobertura de faixa, como o sondador multifeixe, necessita de medir com exactidão o ângulo segundo o qual efectua a determinação da chegada do eco. A exactidão na determinação deste ângulo depende da exactidão do cálculo necessário ao guiamento do feixe (desfasamento em tempo entre os sinais recebidos de vários elementos transdutores), no caso de feixes formados não normalmente à face do transdutor (utilizado em transdutores de face plana – EM 120 [KONGSBERG, 2002] e EM 3000 [KONGSBERG, 2001]) ou da estabilização do feixe, selecção do subcon-

junto de elementos transdutores para a formação de um feixe normal à face do transdutor (utilizado em transdutores de face circular – EM 950 [SIMRAD, 1998]).

A determinação do intervalo de tempo entre a transmissão e a recepção é efectuada com algoritmos específicos, função do ângulo de incidência. Para assegurar resultados fiáveis, é seleccionado um método de detecção em fase ou de detecção em amplitude (ver v.g. KONGSBERG [2002], KONGSBERG [2001] e SIMRAD [1998]), por forma a garantir padrões de exactidão adequada quer na profundidade medida, quer na sua localização transversal.

A especificidade dos algoritmos utilizados na detecção do sinal, isto é, na determinação do intervalo de tempo entre a transmissão e a recepção, conduziram a que o fabricante dos sistemas multifeixe efectuasse o desenvolvimento de modelos de erro para os seus sistemas, em função dos principais tipos de detecção σ_{ZD} (amplitude, σ_{ZA} , e fase, σ_{ZP} , vide KONGSBERG [2002] e HAMMERSTAD [1998]).

Neste estudo adoptou-se como condição de aplicação da detecção em amplitude ou detecção em fase, um número de amostras do eco superior a 12, nos sistemas EM 950. No entanto, nos sistemas EM 3000 e EM 120 essa transição é função de factores vários pelo que foi, para efeito deste estudo, adoptado como condição de transição da detecção em amplitude para a detecção em fase um número de amostras do eco superior a 6.

4.2. Erros devido à variação da velocidade de propagação do som na água

A variação da velocidade de propagação do som na água deve ser analisada segundo dois aspectos: variação da velocidade de propagação do som à face dos transdutores e variação do perfil da velocidade de propagação do som na água.

4.2.1. Variação da velocidade de propagação do som à face dos transdutores – esta variação desde que não monitorizada traduz-se, nos transdutores de face plana, num erro no cálculo do ângulo do feixe formado na recepção. Consequentemente, este erro propagar-se-á em erros na profundidade medida e no respectivo posicionamento.

Para o guiamento do feixe são usualmente aplicados atrasos em tempo aos vários elementos transdutores que constituem o agregado. Esses atrasos são múltiplos de Δt dados por:

$$\Delta t = \frac{d}{c_0} \text{sen}(\beta) \quad (3)$$

onde d é a distância entre elementos do agregado e c_0 a velocidade de propagação do som à face dos transdutores,

$$\beta = \text{asen}\left(\frac{c_0 \Delta t}{d}\right). \quad (4)$$

por diferenciação e simplificação apropriada da equação (4) obtém-se:

$$d\beta = \frac{\tan(\beta)}{c_0} dc_0. \quad (5)$$

O erro na profundidade é dado por:

$$dz_{c_0} = -\frac{z}{c_0} \tan^2(\beta) dc_0. \quad (6)$$

Sendo a variância correspondente igual a,

$$\sigma_{z_{c_0}}^2 = \left(\frac{z}{c_0}\right)^2 \tan^4(\beta) \sigma_{c_0}^2. \quad (7)$$

4.2.2. Variação do perfil da velocidade de propagação do som na água – esta variação traduz-se em erro na profundidade medida e no respectivo posicionamento. Este erro deve-se ao efeito de refração do raio acústico ao longo da coluna de água, seguindo assim um trajecto diferente da solução de refração utilizada pelo sondador, baseado num perfil desactualizado.

Para efeito de simplificação desta análise, considera-se um perfil de velocidade de propagação do som na água com velocidade à superfície c_0 e gradiente constante g , sendo a velocidade ao longo da coluna de água dada por $c(z) = c_0 + gz$.

Assim, a profundidade é obtida através da equação (8), sendo Δt o intervalo de tempo entre a transmissão e a recepção e θ o ângulo do feixe,

$$z = \int_0^{\Delta t/2} (c_0 + g \cdot z) \cos(\theta) dt. \quad (8)$$

Aplicando a lei da propagação dos erros [MIKHAIL e GRACIE, 1981] à equação (8) obtém-se a seguinte expressão para o erro na profundidade medida devido à variação do perfil de velocidade de propagação do som na água. O erro em profundidade, dz_c , devido à variação do gradiente, dg , e à variação da velocidade de propagação do som à superfície, dc_0 , é dado por,

$$dz_c = -\frac{z^2}{2c_0} (1 - \tan^2(\beta)) dg + \frac{z}{c_0} dc_0, \quad (9)$$

onde β e c_0 são respectivamente o ângulo do feixe formado na recepção e a velocidade de propagação do som à face dos transdutores.

A variância correspondente é dada por,

$$\sigma_{z_c}^2 = \left(\frac{z^2}{2c_0}\right)^2 (1 - \tan^2(\beta))^2 \sigma_g^2 + \left(\frac{z}{c_0}\right)^2 \sigma_{c_0}^2. \quad (10)$$

Nesta equação, o primeiro termo representa a variância do erro em profundidade, devido à variação do gradiente do perfil de velocidade de propagação do som na água, enquanto que o segundo termo corresponde à variância do erro em profundidade, devido à diferença de velocidade de propagação do som no início do perfil.

4.3. Erros devido aos movimentos da plataforma de sondagem

Para a determinação dos erros na profundidade devido aos movimentos da plataforma (*roll, pitch e heave*) deve considerar-se a determinação da profundidade em coordenadas locais, dada pela equação (1), isto é,

$$z = \cos(\theta_p) \sin(\theta_R) \cdot R \cdot \sin(\beta) + \cos(\theta_p) \cos(\theta_R) \cdot R \cdot \cos(\beta). \quad (11)$$

Aplicando à equação (11) a lei de propagação dos erros para o erro em *roll*, $d\theta_R$, obtém-se,

$$dz_{\theta_R} = (\cos(\theta_p) \cos(\theta_R) \cdot R \cdot \sin(\beta) - \cos(\theta_p) \sin(\theta_R) \cdot R \cdot \cos(\beta)) d\theta_R, \quad (12)$$

que após substituição adequada corresponde à variância,

$$\sigma_{z_{\theta_R}}^2 = (\cos(\theta_p) \cos(\theta_R) \cdot z \cdot \tan(\beta) - \cos(\theta_p) \sin(\theta_R) \cdot z)^2 \sigma_{\theta_R}^2. \quad (13)$$

Aplicando à equação (11) a lei de propagação dos erros, mas desta vez para o erro em *pitch*, $d\theta_p$, obtém-se,

$$dz_{\theta_p} = (-\sin(\theta_p) \sin(\theta_R) \cdot R \cdot \sin(\beta) - \sin(\theta_p) \cos(\theta_R) \cdot R \cdot \cos(\beta)) d\theta_p, \quad (14)$$

que após substituição adequada corresponde à variância,

$$\sigma_{z_{\theta_p}}^2 = (\sin(\theta_p) \sin(\theta_R) \cdot z \cdot \tan(\beta) + \sin(\theta_p) \cos(\theta_R) \cdot z)^2 \sigma_{\theta_p}^2. \quad (15)$$

O erro na determinação da arfagem, dh , depende do sensor utilizado na medição. Regra geral, os sensores utilizados, quando adequadamente configurados para as condições de ondulação existentes na área de trabalho, apresentam um erro padrão de 5 cm ou de 5% do valor da medição, consoante o maior valor, isto é,

$$\sigma_{z_h} = \max(0.05m, 0.05 \cdot h). \quad (16)$$

4.4. Erros devido à redução da maré

Os erros na redução da maré são o resultado da contribuição dos erros na medição e na concordância da maré, entre o local da medição efectiva da maré e a área de sondagem. Para efeito do presente estudo, adopta-se um erro padrão, $\sigma_{z_m} = 0.10$ m.

4.5. Erro estimado na profundidade reduzida

Considerando as várias componentes do erro na profundidade, o erro padrão na profundidade reduzida, $\varepsilon(z)$, é obtido pela raiz quadrada da soma dos quadrados dos erros não correlacionados entre si, ou seja,

$$\varepsilon(z) = \sqrt{\sigma_{z_D}^2 + \sigma_{z_{c_0}}^2 + \sigma_{z_c}^2 + \sigma_{z_{\theta_R}}^2 + \sigma_{z_{\theta_p}}^2 + \sigma_{z_h}^2 + \sigma_{z_m}^2}. \quad (17)$$

O erro na profundidade reduzida, para um nível de confiança de 95%, $\epsilon_{95\%}(z)$, considerando uma distribuição de erros aproximadamente normal, é dado por,

$$\epsilon_{95\%}(z) = 2 \cdot \sqrt{\sigma_{z_D}^2 + \sigma_{z_{c0}}^2 + \sigma_{z_c}^2 + \sigma_{z_{0R}}^2 + \sigma_{z_{0P}}^2 + \sigma_{z_h}^2 + \sigma_{z_m}^2} \quad (18)$$

Este modelo de erros foi implementado em Mathcad® 11 (Mathsoft™), para os sistemas multifeixe em utilização no IH. Os resultados obtidos são apresentados no capítulo seguinte.

5. Resultados

O erro estimado na profundidade reduzida, a 95% de nível de confiança, foi calculado considerando as características técnicas: dos sondadores multifeixe EM 3000, EM 950 e EM 120; dos sensores que constituem os respectivos sistemas (sensor de movimentos, perfilador de velocidade de propagação do som na água, e sensor para determinação da velocidade de propagação do som ao nível dos transdutores) e as condições médias de operação, conforme Anexo B.

Para os sistemas SMF EM 3000 e EM 950 foi efectuado o cálculo do erro estimado para as profundidades médias de 10 e 40 metros, enquanto que para o sistema EM 120 o cálculo foi efectuado para as profundidades médias de 200 e 1000 metros.

As figuras 2 a 7 apresentam o erro máximo admissível para a ordem de levantamento (S-44) e o erro total estimado na profundidade reduzida, assim como as contribuições para esse erro devido:

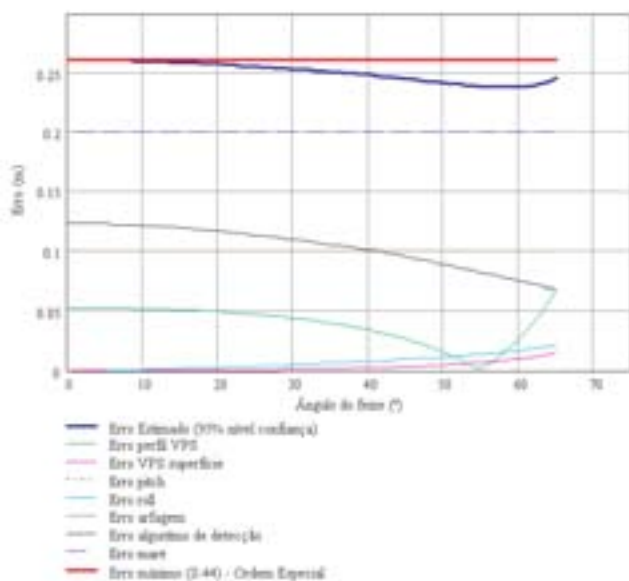


Figura 2 – Balanço de erros para o EM 3000 ($z = 10$ m)

- à variação do perfil de velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água, componentes desses erros;
- à variação da velocidade de propagação do som na água à superfície dos transdutores;
- ao erro na medição do *pitch*;
- ao erro na medição do *roll*;
- ao erro na determinação do *heave*;
- ao erro de cálculo do instante de chegada do eco (detecção em fase ou em amplitude);
- ao erro na redução da maré.

5.1. Sistema SMF EM 3000

Da análise efectuada a este sistema, nas condições de operação assumidas, é de prever que em fundos baixos (Figura 2), para a cobertura total do sistema (65° para cada bordo), a maré seja a componente com maior contribuição para o erro total do sistema. O erro na determinação da arfagem assumirá preponderância, podendo condicionar a utilização do sistema em levantamentos de Ordem Especial, se superior a 2 metros.

Na profundidade limite dos levantamentos de Ordem Especial (Figura 3), 40 metros, não é de prever limitação de utilização do sistema.

Nas condições de operação assumidas, a variação do perfil de velocidade de propagação do som na água não se apresenta como uma limitação ao sistema. No entanto, a variação espacial e temporal do perfil de velocidade de propagação do som na água e os erros na redução da maré, são factores fundamentais para a elevada exactidão deste sistema e para o cumprimento dos requisitos básicos para a Ordem Especial.

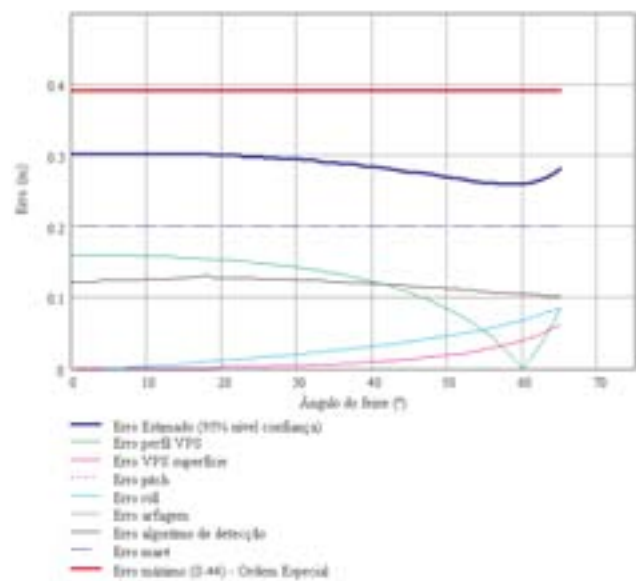


Figura 3 – Balanço de erros para o EM 3000 ($z = 40$ m)

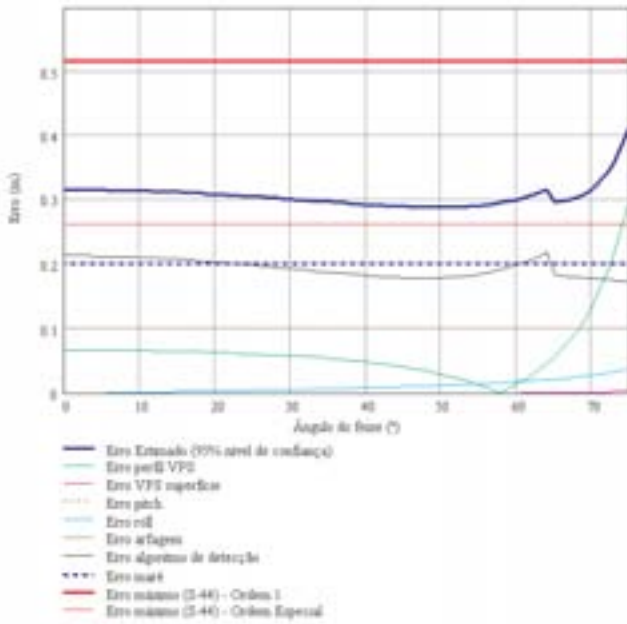


Figura 4 – Balanço de erros para o EM 950 (z = 10 m)

5.2. Sistema SMF EM 950

Da análise efectuada a este sistema, nas condições de operação assumidas, é de prever que em fundos baixos (figuras 4 e 5), para a cobertura total do sistema (75° para cada bordo), o erro de cálculo do instante de chegada do eco e a maré sejam as componentes com maior contribuição para o erro total do sistema. O erro na determinação da arfagem, assumirá preponderância se a arfagem for superior a 2 metros.

Este sistema não cumpre os requisitos para levantamentos de Ordem Especial.

Para feixes com ângulo superior a 60°, verifica-se o crescimento exponencial do erro, devido à variação do perfil de velocidade de propagação do som na água.

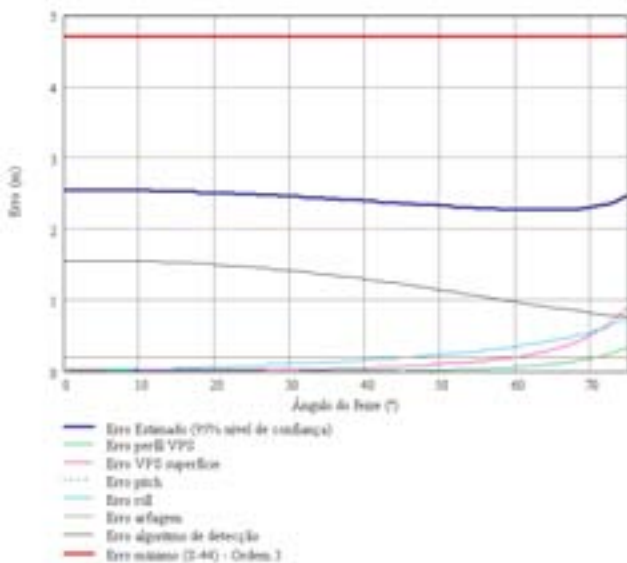


Figura 6 – Balanço de erros para o EM 120 (z = 200 m)

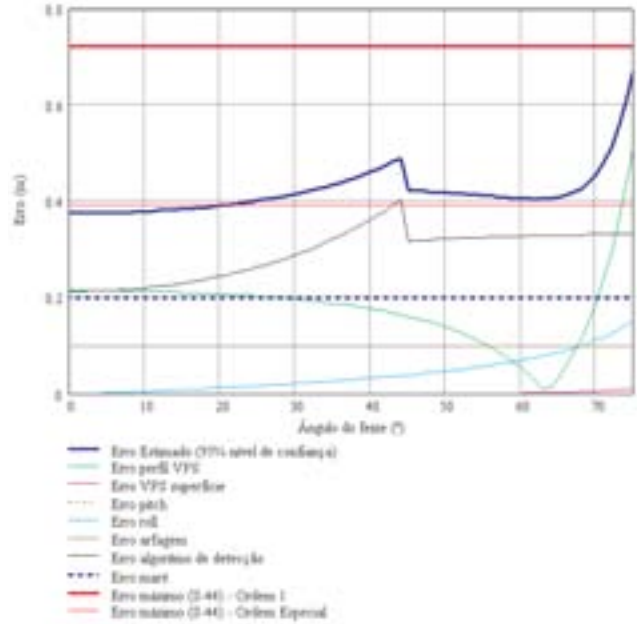


Figura 5 – Balanço de erros para o EM 950 (z = 40 m)

5.3. Sistema SMF EM 120

Da análise efectuada a este sistema, nas condições de operação assumidas, é de prever que em fundos de 200 m (figura 6), para a cobertura total do sistema (75° para cada bordo), o erro de cálculo do instante de chegada do eco apresenta-se como a maior contribuição para o erro total.

Para feixes com ângulo superior a 60°, verifica-se o crescimento exponencial do erro devido à variação do perfil de velocidade de propagação do som na água e à componente do erro de determinação da velocidade à face dos transdutores. Em grandes profundidades (figura 7) verifica-se, nos feixes exteriores, além das contribuições atrás referidas, um erro significativo devido ao erro em *roll*.

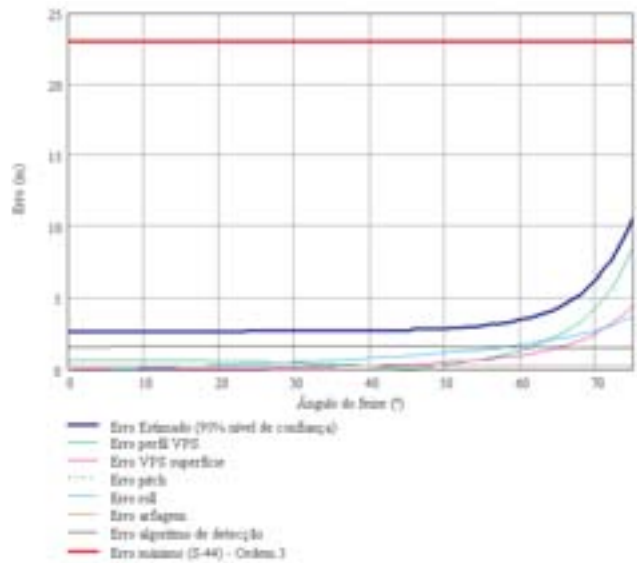


Figura 7 – Balanço de erros para o EM 120 (z = 1000 m)

6. Conclusões

Da análise dos resultados apresentados conclui-se que o crescimento do erro nos sistemas SMF aumenta, regra geral, com o aumento do ângulo do feixe, sendo a taxa de crescimento do erro mais significativa a partir dos 60°.

Em condições normais de operação, os erros mais significativos na profundidade medida são devidos à variação do perfil de velocidade de propagação do som na água. Em grandes fundos, os erros em *roll* adquirem também preponderância.

O sistema SMF EM 3000 apresenta-se, nesta análise, como o único meio com capacidade de cumprimento dos requisitos de exactidão na profundidade reduzida em levantamentos de Ordem Especial. O erro de maré é, neste sistema, a principal condicionante na satisfação desses requisitos.

Para garantia da qualidade dos dados batimétricos adquiridos pelos sistemas SMF deve ser monitorizado o erro na profundidade medida devido à variação do perfil de velocidade de propagação do som na água.

No sentido de garantir uma elevada exactidão na medição da maré no local efectivo da sondagem, considera-se recomendável, para levantamentos de Ordem Especial, a implementação da medição da maré a bordo com recurso ao GPS, método RTK/OTF (Real Time Kinematic/On-The-Fly).

Bibliografia

- HAMMERSTAD, E., 1998. *EM Technical Note – Multibeam Echo Sounder Accuracy*. Kongsberg Simrad. Horten, Noruega. p. 20.
- KONGSBERG, 2001. «EM 3000 Multibeam Echo Sounder – Operator Manual». Kongsberg Maritime, Horten, Noruega.
- KONGSBERG, 2002. «EM 120 Multibeam Echo Sounder – Operator Manual». Kongsberg Maritime, Horten, Noruega.
- MIKHAIL, E. E G. GRACIE, 1981. «Analysis and Adjustments of Survey Measurements». Van Nostrand Reinhold Company. Nova Iorque. pp. 13-16.
- OHI, 1998. «S44 – IHO Standards for Hydrographic Surveys». 4.ª edição, Múnaco.
- SIMRAD, 1998. «EM 950 Multibeam Echo Sounder – Operator Manual». Simrad AS, Horten, Noruega.

Anexo A

Referenciais e Sistemas de Coordenadas

A medição da profundidade é efectuada numa embarcação em condições dinâmicas. Assim, é essencial a determinação, com elevada exactidão, da atitude da embarcação, isto é, das rotações em *roll*, *pitch* e *proa*.

Considerando um referencial da embarcação de mão direita com o eixo dos xx a apontar para a proa, o eixo dos yy a apontar para estibordo, e o eixo dos zz a apontar para baixo; e a convenção usualmente utilizada pelos sensores de movimentos, em que o *roll* é positivo quando o estibordo da embarcação entra dentro de água, o *pitch* é positivo quando a proa da embarcação sai fora de água e a *proa* é positiva quando a rotação no sentido dos ponteiros do relógio.

Considerando a Figura A.1, a rotação θ_1 no plano yz , i.e., rotação em torno do eixo dos xx (*roll*), pode ser expressa pela matriz de rotação,

$$R_1(\theta_1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_1) & \text{sen}(\theta_1) \\ 0 & -\text{sen}(\theta_1) & \cos(\theta_1) \end{bmatrix}.$$

E as rotações em torno do eixo yy (*pitch*) e zz (*proa*) são respectivamente:

$$R_2(\theta_2) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & 0 & -\text{sen}(\theta_2) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\theta_2) & 0 & \cos(\theta_2) \end{bmatrix},$$

$$R_3(\theta_3) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & \text{sen}(\theta_3) & 0 \\ -\text{sen}(\theta_3) & \cos(\theta_3) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

A transformação entre dois referenciais resulta da aplicação sequencial de três rotações, i.e., pelo produto das respectivas matrizes de rotação. Rotações sucessivas são aplicadas à esquerda do produto.

Considerando as rotações na sequência $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ respectivamente em torno dos eixos xx , yy e zz , a matriz de transformação é dada pelo produto $R_3(\theta_3) \cdot R_2(\theta_2) \cdot R_1(\theta_1)$.

$$\begin{bmatrix} \cos(\theta_1)\cos(\theta_2) & \text{sen}(\theta_1)\cos(\theta_2) + \cos(\theta_1)\text{sen}(\theta_2)\text{sen}(\theta_3) & \text{sen}(\theta_1)\text{sen}(\theta_2) - \cos(\theta_1)\text{sen}(\theta_2)\cos(\theta_3) \\ -\text{sen}(\theta_1)\cos(\theta_2) & \cos(\theta_1)\cos(\theta_2) - \text{sen}(\theta_1)\text{sen}(\theta_2)\text{sen}(\theta_3) & \cos(\theta_1)\text{sen}(\theta_2) + \text{sen}(\theta_1)\text{sen}(\theta_2)\cos(\theta_3) \\ \text{sen}(\theta_2) & -\cos(\theta_2)\text{sen}(\theta_3) & \cos(\theta_2)\cos(\theta_3) \end{bmatrix}$$

As profundidades, inicialmente referidas ao referencial da embarcação, necessitam de ser posicionadas no referencial local. O referencial local adoptado apresenta as seguintes características: o eixo dos xx aponta para Este, o eixo dos yy aponta para Norte e o eixo dos zz aponta para baixo.

Numa embarcação de sondagem os ângulos de *roll*, *pitch* e *proa* são respectivamente: θ_R , θ_P e α . A medição efectuada para um feixe com ângulo β e distância oblíqua R , no referencial da embarcação (x', y', z') , será transferido para o referencial local (x, y, z) , através das rotações: em torno do eixo dos xx , o valor recíproco do ângulo de *roll* medido $(-\theta_R)$; em torno do eixo dos yy , o valor recíproco do ângulo de *pitch* medido $(-\theta_P)$; e em torno do eixo dos zz , o valor recíproco do ângulo de *proa* medido $(-\alpha)$. No entanto, como o sistema de coordenadas da embarcação é de mão direita e o sistema de coordenadas local é de mão esquerda, ambos com eixo dos zz positivos para baixo, é necessário efectuar a permuta de coordenadas de x com y e vice-versa. Esta permuta é implementada através da aplicação da matriz R_{xy} .

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R_{xy} \cdot R_3(-\alpha) \cdot R_2(-\theta_P) \cdot R_1(-\theta_R) \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = T(\alpha, \theta_P, \theta_R) \begin{bmatrix} 0 \\ R \text{sen}(\theta) \\ R \text{cos}(\theta) \end{bmatrix}$$

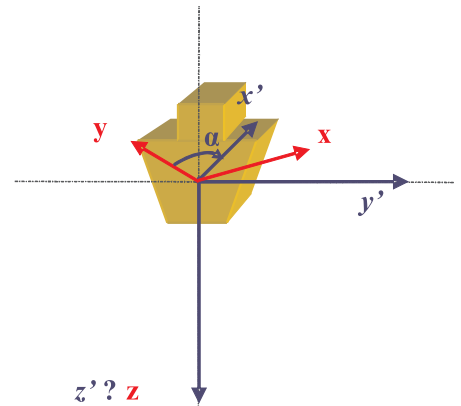


Figura A.1 – Referencial da embarcação

onde R_{xy} é dado por,

$$R_{xy} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

$$T(\alpha, \theta_p, \theta_R) = \begin{bmatrix} \sin(\alpha) \cos(\theta_p) & \cos(\alpha) \cos(\theta_R) + \sin(\alpha) \sin(\theta_p) \sin(\theta_R) & -\cos(\alpha) \sin(\theta_R) + \sin(\alpha) \sin(\theta_p) \cos(\theta_R) \\ \cos(\alpha) \cos(\theta_p) & -\sin(\alpha) \cos(\theta_R) + \cos(\alpha) \sin(\theta_p) \sin(\theta_R) & \sin(\alpha) \sin(\theta_R) + \cos(\alpha) \sin(\theta_p) \cos(\theta_R) \\ -\sin(\theta_p) & \cos(\theta_p) \sin(\theta_R) & \cos(\theta_p) \cos(\theta_R) \end{bmatrix}$$

e $T(\alpha, \theta_p, \theta_R)$ é a matriz de transformação do referencial da embarcação para o referencial local. Assim, obtém-se:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\cos(\alpha) \cos(\theta_R) + \sin(\alpha) \sin(\theta_p) \sin(\theta_R)) \cdot R \sin(\beta) + (-\cos(\alpha) \sin(\theta_R) + \sin(\alpha) \sin(\theta_p) \cos(\theta_R)) \cdot R \cos(\beta) \\ (-\sin(\alpha) \cos(\theta_R) + \cos(\alpha) \sin(\theta_p) \sin(\theta_R)) \cdot R \sin(\beta) + (\sin(\alpha) \sin(\theta_R) + \cos(\alpha) \sin(\theta_p) \cos(\theta_R)) \cdot R \cos(\beta) \\ \cos(\theta_p) \sin(\theta_R) \cdot R \sin(\beta) + \cos(\theta_p) \cos(\theta_R) \cdot R \cos(\beta) \end{bmatrix}.$$

Anexo B

Características dos Sistemas Multifeixe e Condições de Operação

Tabela B.1 – Características Técnicas dos Sondadores Multifeixe

		EM 3000	EM 950	EM 120
Frequência (kHz)	f	300	95	12
Taxa máxima de transmissão de impulsos (Hz)	PRR	25	4	5
Profundidades de operação (m)	z	1-150	3-400	50-11000
Número de feixes	n _f	127	60	191
Abertura do feixe transmitido (°)	ψ _x	1.5	3.3	2
Abertura do feixe formado na recepção (°)	ψ _y	1.5	3.3	2
Cobertura angular máxima (°)	Δθ	130	150	150
Espaçamento angular dos feixes (°)	Δβ	0.9	2.5	1.0
Duração do impulso (ms)	τ	0.15	0.2	2
Taxa de amostragem do eco (kHz)	ΔR _s	14 (0.05 m)	5 (0.15 m)	2 (0.37 m)
Amostragem dos dados de fase do eco (m)	ΔR _p	(0.05 m)	(0.30 m)	(0.37 m)

Tabela B.2 – Características dos Sensores que Constituem o Sistema SMF

		Sistema EM 3000	Sistema EM 950	Sistema EM 120
SVP				
Erro padrão na velocidade de propagação do som na água (m/s)	σ _c	0.25	0.25	0.25
Smart Probe				
Erro padrão na velocidade de propagação do som à face dos transdutores (m/s)	σ _{cs}	0.25	-- ²	0.25
Sensor de Movimentos				
Erro padrão em <i>Roll</i> (°)	σ _{θR}	0.03	0.03	0.03
Erro padrão em <i>Pitch</i> (°)	σ _{θP}	0.03	0.03	0.03
Erro padrão na determinação da arfagem (m)	σ _h	0.05 ou 0.05*arfagem	0.05 ou 0.05*arfagem	0.05 ou 0.05*arfagem

Tabela B.3 – Condições Médias de Operação

		Sistema EM 3000	Sistema EM 950	Sistema EM 120
Varição do gradiente da velocidade de propagação do som na água (s ⁻¹)	σ _g	Z=10 m ⇒ σ _g = 0.4 Z=40 m ⇒ σ _g = 0.1	Z=10 m ⇒ σ _g = 0.4 Z=40 m ⇒ σ _g = 0.1	σ _g = 0.001
Varição da velocidade de propagação do som na água à face dos transdutores (m/s)	σ _{c0}	0.25	2	0.25
<i>Roll</i> (°)	θ _R	5	5	5
<i>Pitch</i> (°)	θ _P	5	5	5
Arfagem (m)	h	1	1	2
Maré – erro padrão (m)	σ _{hm}	0.1	0.1	N/A ³

² Este sistema, na versão base, não tem sensor de medição da velocidade de propagação do som à face dos transdutores.

³ A maré é, obrigatoriamente, aplicada em fundos inferiores a 200 metros.

Validação laboratorial na análise de metais

Carla Palma, ASSESSOR

Manuela Valença, TÉCNICO ESPECIALISTA PRINCIPAL

Resumo A validação laboratorial deve ser efectuada em todos os laboratórios que realizem análises químicas por forma a assegurar que os resultados obtidos têm qualidade. Dois dos métodos adoptados no Laboratório de Metais do Instituto Hidrográfico para validação laboratorial são a participação em exercícios de intercalibração com outros laboratórios e a utilização de materiais de referência.

Neste artigo apresentam-se os resultados obtidos nas participações nos exercícios de intercalibração realizados, nas matrizes águas, seres vivos e sedimentos. Apresentam-se também resultados obtidos com a utilização dos materiais de referência.

Da análise dos resultados obtidos conclui-se que o laboratório de metais verifica, sustentadamente, desempenhos satisfatórios nas análises aos metais cobre, zinco, ferro, chumbo e manganês, que verificou uma evolução positiva significativa na qualidade das análises aos metais cádmio, alumínio e lítio. Para o caso das análises aos metais crómio, níquel e mercúrio deverá prosseguir-se o trabalho de revisão dos métodos de análise e de melhoria no equipamento por forma a alcançar o desempenho laboratorial.

Abstract Laboratorial validation needs to be done in all laboratories conducting chemical analysis in order to achieve the desired quality. Two of the methods implemented at Hydrographic Institute are the interlaboratorial exercises and use of reference materials.

In this article the results obtained in samples of water, sediments and biota are presented. Results with the use of reference materials are also presented.

Analysis of results may conclude that the laboratory quality performance is satisfactory for the analysis on metals Cu, Zn, Fe, Pb and Mn, and that in recent years sound progress has been made for the analysis on Cd, Al and Li. Work on the method for analysing metals Cr, Ni and Hg shall continue to improve standards.

1. Introdução

Os métodos de análises químicas envolvem manipulações susceptíveis de acumular erros aleatórios ou sistemáticos. Deste modo qualquer laboratório deve dispor de meios e critérios para demonstrarem que os métodos que executam conduzem a resultados credíveis e adequados à qualidade pretendida pelo laboratório^{1,2}.

A validação laboratorial corresponde a esse conjunto de critérios que o laboratório deve dispor. A validação pode ser efectuada de um modo directo ou de um modo indirecto. Na validação por avaliação indirecta é estudado o método quanto à sua praticabilidade, quantificação, precisão/fidelidade, especificidade/selectividade e robustez. Na validação por avaliação directa são efectuados ensaios interlaboratoriais, ensaios com materiais de referência certificados e ensaios comparativos com métodos normalizados de referência. A validação por avaliação directa visa essencialmente a exactidão das metodologias ou seja a concordância entre o resultado de um ensaio e o valor de referência aceite como convencionalmente verdadeiro^{3,4}.

Os ensaios interlaboratoriais destinam-se a avaliar o desempenho dos laboratórios participantes, uma vez que evidenciam a exactidão dos resultados de um determinado método de ensaio.

O material de referência certificado é um material em que o valor de uma ou mais propriedades foi certificado por um processo tecnicamente válido, sendo acompanhado de incerteza e rastreável a um certificado ou outro documento produzido pela entidade certificadora. O material de referência é utilizado com o objectivo de determinar a exactidão da metodologia em questão devendo ser utilizado de forma semelhante às amostras, deve ter uma matriz semelhante às amostras e adequado às gamas de trabalho dos métodos em causa.

A Divisão de Química e Poluição do Meio Marinho do Instituto Hidrográfico efectua análises químicas em amostras de água, sedimento e seres vivos. O laboratório de metais para validação laboratorial tem vindo a utilizar a participação em exercícios interlaboratoriais e a utilização de materiais de referência⁵.

Desde 1993 que o Instituto Hidrográfico participa em diferentes exercícios interlaboratoriais, nomeada-

mente nos projectos Quasimeme (Quality Assurance of Information from Marine Environmental Monitoring in Europe), AQUACON (Analytical Quality Assessment, Control And Assurance Studies In The Mediterranean Basin) e IAEA-MEL (Marine Environmental Studies Laboratory, International Atomic Energy Agency, Marine Environmental Laboratory).

A avaliação do desempenho dos laboratórios no projecto Quasimeme é efectuada através de um indicador estatístico (Z-score) para cada parâmetro analisado. O valor de Z é calculado através da expressão

$$Z = (\text{concentração medida} - \text{valor aceite como verdadeiro da concentração}) / \text{desvio padrão admissível}$$

Os resultados obtidos para cada parâmetro são classificados em satisfatórios, questionáveis ou não satisfatórios de acordo com:

$ Z \leq 2$	satisfatório
$2 < Z < 3$	questionável
$ Z \geq 3$	não satisfatório

Idealmente o laboratório deveria ter sempre valores de Z inferiores a 2, o que na prática nem sempre sucede⁶. Nesses casos, deve-se elaborar um plano de acções correctivas tentando procurar as causas para o sucedido e tentar corrigir. Quando os resultados obtidos pelos diferentes laboratórios são significativamente diferentes uns dos outros o valor de Z não é determinado, o que acontecesse com alguma frequência para o elemento cádmio.

O projecto IAEA-MEL avalia de um modo idêntico ao projecto QUASIMEME os resultados obtidos nas intercalibrações.

O projecto AQUACON envia como resultados da participação nos exercícios o número de laboratórios envolvidos e respectivos valores médios, mínimo, máximo e desvio padrão.

Os materiais de referência utilizados no laboratório dos metais são: água estuarina CRM 505 e água de oceano aberto CASS-2, sedimento estuarino BCR-277 e sedimento de rio BCR-320.

Neste artigo apresentam-se os resultados obtidos nas intercalibrações em amostras de água, sedimento e seres vivos em que o laboratório dos metais tem vindo a participar, assim como os resultados obtidos na utilização de materiais de referência. Convém referir que ao longo destes anos de participação nos exercícios de intercalibração, os métodos utilizados para a determinação de metais em amostras de água, seres vivos e sedimentos sofreram alterações, assim como houve a aquisição de novos equipamentos. Tais alterações poderão justificar oscilações nos valores de Z obtidos no Quasimeme.

2. Participação em exercícios de intercalibração

O projecto Quasimeme teve início em 1993, tendo os exercícios de intercalibração sido efectuados nos três compartimentos água, sedimentos e seres vivos.

Apresenta-se na tabela 1 os exercícios de intercalibração no qual o laboratório dos metais participou, com indicação da data de participação⁷, assim como quando houve alteração à técnica utilizada e quando houve alteração de equipamento.

Exercício 1 (Fev-Jul 1993) S	Exercício 20 (Dez 1999-Abr 2000) S
Exercício 2 (Dez-Mai 1994) S/SV	Alteração do método (digestão por microondas)
Exercício 3 (Jul-Nov 1994) S/SV	Exercício 21 (Abr-Jun 2000) A
Exercício 4 (Dez-Mai 1995) S/SV	Exercício 22 (Jun-Out 2000) S
Exercício 5 (Dez1994-Mai1995) S/SV	Exercício 23 (Out 2000-Jan 2001) A
Exercício 6 (Jun-Nov 1996) S	Exercício 24 (Dez 2000-Abr 2001) S
Exercício 7 (Set-Dez 1996) A	Exercício 25 (Abr-Jun 2001) A
Exercício 9 (Abr-Set 1997) A	Exercício 26 (Jun-Out 2001) S
Exercício 10 (Jun-Out 1997) S	Exercício 27 (Out 2001-Jan 2002) A
Exercício 11 (Out 1997-Jan1998) A	Exercício 28 (Jan-Abr 2002) S
Exercício 12 (Dez 1997-Abr1998) S	Alteração do método (Espectrofotómetro de absorção atómica)
Exercício 13 (Abr-Jul 1998) A	
Exercício 14 (Jun-Set 1998) S	Exercício 29 (Abr-Jun 2002) A
Exercício 15 (Out 1998-Jan 1999) A	Exercício 30 (Ago-Nov 2002) S
Exercício 16 (Dez 1998-Abr 1999) S	Exercício 31 (Out 2002-Jan 2003) A
Exercício 17 (Abr-Jun 1999) A	Exercício 32 (Jan-Abr 2003) S
Exercício 18 (Jun -Out 1999) S	Exercício 33 (Abr-Jul 2003) A
Exercício 19 (Out 1999-Jan 2000) A	Exercício 34 (Jun-Out 2003) S
(S – sedimento, SV – seres vivos, A – água)	

Tabela 1 – Exercícios de intercalibração no âmbito do programa QUASIMEME

O projecto IAEA-MEL Marine Environmental Studies Laboratory organizou dois exercícios com amostras de sedimento nos quais o laboratório dos metais participou (Tabela 2).

Julho 1998	IAEA – 405
Junho 2003	IAEA – 433

Tabela 2 – Exercícios de intercalibração no âmbito do projecto IAEA-MEL

O projecto AQUACON organizou dois exercícios com amostras de sedimento e soluções de metais preparadas com padrões e livre de interferências de matrizes (Tabela 3).

Junho 1998
Abril 2000

Tabela 3 – Exercícios de intercalibração no âmbito do projecto AQUACON

3. Apresentação e discussão de resultados

3.1. Projecto QUASIMEME

A análise e avaliação dos resultados obtidos foi efectuada com base no parâmetro estatístico Z, obtido ao longo dos anos de participação do laboratório dos metais.

3.1.1. Amostras de água

A intercalibração de amostras de água corresponde aos exercícios 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31 e 33. Os metais cádmio, chumbo e zinco foram sempre determinados ao longo destes exercícios. Os metais arsénio, boro, crómio, cobalto, manganês, prata, estanho e vanádio nunca foram analisados nestes exercícios. Os metais cobre, ferro e níquel, foram progressivamente sendo incluídos nos programas de intercalibração.

Relativamente à técnica de extracção das águas, não houve qualquer alteração significativa⁸. Quanto ao equipamento de absorção atómica de chama e de câmara de grafite foi substituído por um equipamento conjunto chama/câmara de grafite em Janeiro de 2002.

Nas Figuras 1 e 2 está representado o parâmetro Z para os metais cádmio, cobre, ferro, níquel, chumbo e zinco nos exercícios de intercalibração em amostras de água entre 1996 e Abril de 2003.

Amostras com teores em cádmio inferiores a 0,2 µg/l apresentam valores de Z nos primeiros exercícios de intercalibração muito elevados, que têm vindo a diminuir progressivamente. Amostras com teores em cádmio superiores a 0,2 µg/l apresentam de um modo geral valores de Z entre -3 e +3.

Os valores de Z obtidos para o cobre, zinco e ferro são inferiores a 3 para a maior parte das amostras.

O níquel passou a ser analisado por espectrofotometria de absorção atómica – câmara de grafite a partir de Abril de 2002. Os valores de Z a partir dessa altura são inferiores a 3.

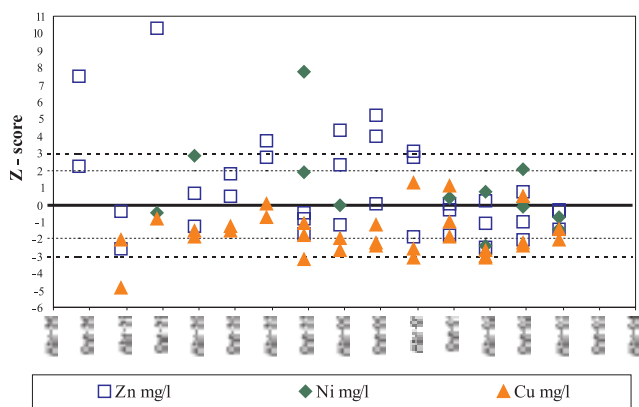


Figura 1 – Parâmetro de avaliação – Z em amostras de sedimento para o Zn, Ni e Cu

O chumbo apresenta valores de Z que oscilam consoante a gama de valores. Assim, nas amostras com teores de chumbo inferiores a 0,2 µg/l os valores de Z obtidos são sempre, exceptuando um caso, superiores a 3. Para teores intermédios de chumbo os valores de Z também atingem e ultrapassam o valor de 3. Para valores de chumbo superiores a 1 µg/l os valores de Z têm vindo a melhorar ao longo do tempo. No último exercício foram obtidos valores de Z inferiores a 1.

3.1.2. Amostras de sedimento

Os exercícios de intercalibração para as amostras de sedimento correspondem aos números 1 a 6, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 e 32. Os metais alumínio, cádmio, cobre, chumbo, mercúrio e zinco foram sempre determinados ao longo destes exercícios. Os metais crómio e níquel foram incluídos a partir do segundo exercício. A partir de Setembro de 1996 passaram a ser determinados também o lítio, ferro e manganês e, a partir de Janeiro de 2003, o arsénio.

No exercício 2 foram enviados juntamente com os sedimentos quatro amostras de sedimento já digeridas.

Para essas amostras os valores de Z obtidos foram os que figuram na tabela 2.

Amostra	Al	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
QTM008SD	-	6,67	-4,5	1,75	6,53	2,08
QTM009SD	-	6,48	0,46	2,44	6,58	1,23
QTM010SD	4,52	-7,4	0,60	0,00	6,67	2,23
QTM011SD	4,52	6,27	0,05	0,21	6,32	1,10

Tabela 2 – Valor de Z em Soluções Digeridas

Como se pode verificar para o alumínio, cádmio e chumbo os valores de Z obtidos foram elevados.

Quanto ao método de digestão e determinação de metais em sedimentos ocorreu uma alteração significativa em Janeiro de 2000. Com efeito foi efectuada a aquisição de um microondas tendo então sido efectuados diversos testes ao método de digestão⁹⁻¹². Quanto ao equipamento de absorção atómica de chama e de câmara

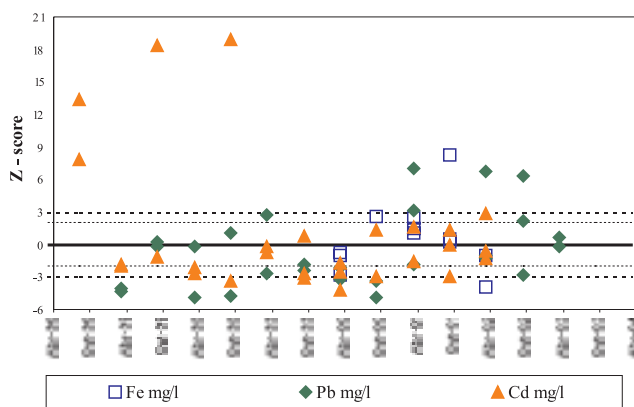


Figura 2 – Parâmetro de avaliação- Z em amostras de sedimento para o Fe, Pb e Cd

de grafite foi substituído por um equipamento conjunto chama/câmara de grafite em Janeiro de 2002.

Nas Figuras 3, 4 e 5 está representado o parâmetro Z para os metais alumínio, cádmio, cromo, cobre, lítio, ferro, mercúrio, manganês, níquel, chumbo e zinco nos exercícios de intercalibração em amostras de sedimento entre 1996 e Outubro de 2003.

Para o elemento cobre e zinco obtiveram-se sempre valores de Z inferiores a 2, apenas com uma excepção para o zinco, que em Outubro de 1996, apresentou um valor de Z superior a 3 correspondendo a uma concentração de zinco inferior a 50 mg/kg.

Para o elemento cádmio nem sempre o valor de Z é calculado. Ao longo do tempo verifica-se uma melhoria significativa nos resultados obtidos. A partir de Abril de 98 apenas houve um resultado obtido cujo valor de Z foi superior a 2 correspondendo a uma concentração de cádmio inferior a 1 mg/kg.

Para o cromo os resultados obtidos originam valores de Z a maior parte das vezes inferiores a 2, com alguns casos entre 2 e 3. No entanto verifica-se que os resultados obtidos apresentam sistematicamente desvios positivos.

O lítio começou a ser determinado em 1998. Verifica-se que apenas em 2 casos os resultados originaram valores de Z superiores a 2. Verifica-se alguma melhoria a partir de 2002.

O ferro apresenta de um modo geral bons resultados com valores de Z inferiores a 2, detectando-se apenas em 2 casos valores entre 2 e 3.

O alumínio apresenta alguma aleatoriedade nos resultados verificando-se no entanto uma melhoria a partir de 2001. Esta melhoria tem a ver com a alteração da técnica de digestão.

O mercúrio apresenta 3 casos com valores de Z superiores a 3 que correspondem ao início da participação nos exercícios de intercalibração, e amostras com teores em mercúrio baixas (< 0,1 mg/kg). Os restantes resultados apresentam valores de Z inferiores a 2, com apenas duas excepções.

O manganês começou a ser determinado em Outubro de 1997, tendo os valores de Z sido inferiores a 2 com excepção do exercício de Abril de 2000.

O níquel apresenta valores de Z que apresentam alguma variação sendo alguns deles superiores a 2 e a 3.

O chumbo apresenta alguns valores superiores a 2 e a 3, mas de um modo geral os valores são inferiores a 2.

3.1.3. Amostras de seres vivos

Os exercícios de intercalibração para amostras de seres vivos foram os exercícios 2, 3, 4 e 5. Os metais, cádmio, cobre, cromo, chumbo, mercúrio e zinco foram sempre determinados.

Quando não aparecem os valores de Z, é porque este não foi determinado, uma vez que os valores obtidos pelos diferentes laboratórios são significativamente diferentes uns dos outros.

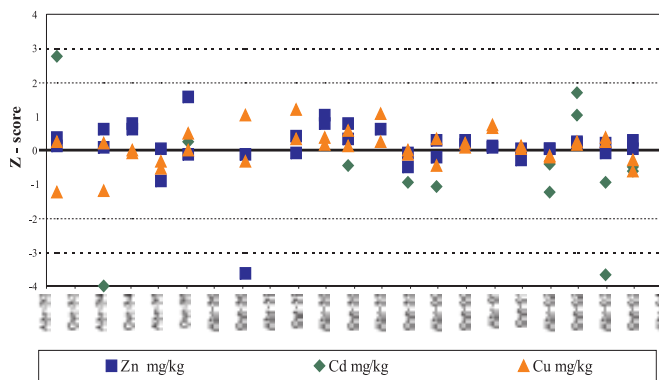


Figura 3 – Parâmetro de avaliação – Z em amostras de sedimento para o Zn, Cd e Cu

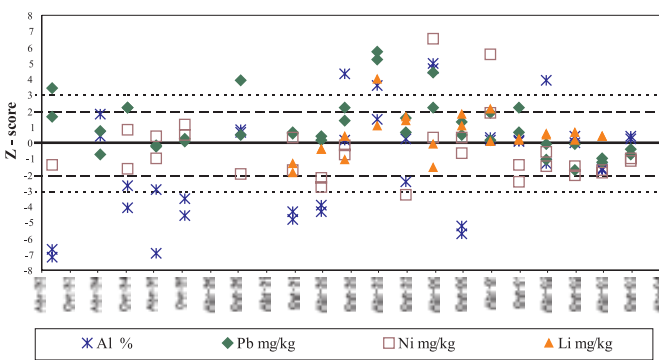


Figura 4 – Parâmetro de avaliação – Z em amostras de sedimento para o Al, Pb, Ni e Li

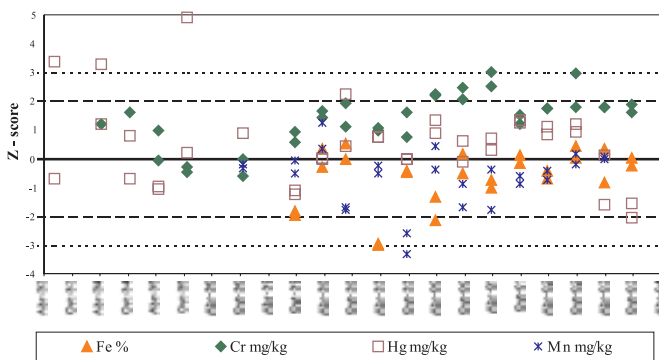


Figura 5 – Parâmetro de avaliação – Z em amostras de sedimento para o Fe, Cr, Hg e Mn

Apresentam-se na tabela 3 os valores de Z obtidos.

Amostra	Al	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
QTM 004BT (músculo)	–	2,70	3,60	1,00	–	0,20
QTM 005BT (mexilhão)	-2,90	1,60	1,30	1,40	-6,7	-0,50
QTM 013BT (mexilhão)	22,4	1,80	0,50	1,20	3,6	0,30
QTM 014BT (fígado)	-0,40	–	0,40	4,10	–	0,20
QTM 017BT (músculo)	–	–	1,60	0,64	–	1,33
QTM 018BT (fígado)	42,82	–	0,83	1,06	–	0,83
QTM 023BT (fígado)	56,21	–	1,11	2,41	–	1,86
QTM 024 BT (músculo)	62,24	–	0,53	2,86	–	0,59

Tabela 3 – Valor de Z em Seres Vivos

Como se pode verificar o cádmio e o chumbo apresentam valores de Z sempre superiores a 3, com apenas duas excepções, enquanto para os outros metais os valores obtidos são mais satisfatórios.

3.2 Projecto IAEA-MEL

Apresentam-se na Tabela 4 os resultados obtidos nos dois exercícios de intercalibração do projecto IAEA-MEL. Para cada elemento foram efectuadas seis análises independentes. Na tabela são apresentados os valores médios e respectivos desvios enviados pelo IAEA-MEL para cada elemento¹³, assim como os resultados obtidos pelo laboratório de metais.

Analisando os resultados obtidos do valor de Z para o exercício 405 verifica-se que apenas o lítio apresenta

um valor de 3 e o níquel o valor de -2,7, os restantes são sempre inferiores a 2.

Relativamente ao exercício 433 ainda não foram recebidos os valores de Z.

3.3 Projecto AQUACON

Nas Tabelas 5 e 6 apresentam-se os resultados obtidos em termos de valor médio, mínimo e máximo referente aos 40 laboratórios¹⁴ envolvidos nos dois exercícios de intercalibração e a média e desvio padrão obtidos pelo IH.

ELEMENTO (mg/kg)	NOVEMBRO 1998					JUNHO 2003			
	IAEA-405		IH			IAEA *		IH	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Z	Média	Desvio	Média	Desvio
Al	77907	15498	89995	6245	-	78190	4166	6900	464
As	-	-	-	-	-	18,9	1,82	24	3,02
Cd	0,730	0,205	< 1	-	-	0,153	0,033	0,025	0,007
Cr	84,0	15,0	103	2	1,8	136	10	147	1,50
Cu	47,7	5,1	47	0,5	0,0	30,8	2,6	30	0,469
Fe	37406	2550	34971	946	-0,5	40806	1928	43562	639
Hg	0,812	0,139	0,876	0,025	0,6	0,168	0,017	0,197	0,026
Li	72,0	17,2	45	3,6	-3,0	67	3,9	68	0,644
Mn	495	39	480	5	-0,2	316	16	259	5,02
Ni	32,5	5,3	22	0,6	-2,7	39,4	3,09	29	0,679
Pb	74,8	9,4	87	1,2	1,3	26,0	2,71	15,9	0,719
Zn	279	34	275	14	-0,1	101	8	100	0,759

* Resultados preliminares

Tabela 4 – Média, desvio e Z de amostras de sedimento do IAEA-MEL

Amostra	Elemento (µg/l)	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	
Soluções de metais									
A	AQUACON	Média	0,50	4,39	1,87	0,07	1,30	2,36	8,21
		Mín	0,20	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
		Máx	0,69	5,80	2,64	0,10	4,90	3,23	11,6
	IH	Média	0,57	3,84	1,91	0,072	1,16	2,46	8,43
		Desvio	0,14	0,03	0,01	0,001	0,04	0,02	0,02
		Média	1,14	4,76	4,42	0,45	5,85	6,84	18,1
B	AQUACON	Mín	0,14	1,17	3,07	0,21	4,69	4,00	8,20
		Máx	8,85	7,85	15,1	1,10	7,27	31	325
		X	1,04	5,06	4,01	0,476	5,69	6,00	9,90
	IH	Desvio	0,02	0,06	0,05	0,007	0,06	0,05	0,07
		Média	9,86	7,24	32	0,07	2,11	91	152
		Mín	4,99	1,03	2,99	0,01	1,10	5,33	19,0
C	AQUACON	Máx	13,5	12,3	168	0,37	3,50	126	371
		Média	10,0	7,51	27	0,05	2,71	96	149
		Desvio	0,07	0,04	0,21	0,001	0,01	0,58	0,49
	IH	Média	4,75	37	24	4,75	24	19,5	30
		Mín	1,97	3,97	9,78	0,08	9,69	7,98	12,0
		Máx	6,34	60	31	7,76	29	27	42
D	AQUACON	Média	4,89	41	17,0	5,57	26	19,0	29
		Desvio	0,07	0,23	0,54	0,179	0,16	0,23	0,52
		Média	9,24	7,23	9,99	2,56	9,15	9,93	25
	IH	Mín	0,10	4,50	3,16	0,41	7,50	7,07	19,5
		Máx	12,1	22	23	2,56	12,0	18,5	35
		Média	9,60	7,00	8,60	2,96	10,0	9,10	24
E	AQUACON	Desvio	0,03	0,04	0,06	0,037	0,07	0,06	0,09

Tabela 5 – Média, mínimo, Máximo e desvio das amostras de sedimento do AQUACON

Elemento (mg/kg)		Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	
Digestão AQUACON									
F	AQUACON	Média	0,20	3,03	1,87	0,04	0,86	2,63	9,00
		mín	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
		Máx	0,47	4,73	2,64	0,20	1,50	11,3	12,0
	IH	Média	–	4,52	1,66	0,033	0,65	2,50	9,09
		δ	–	0,03	0,00	0,000	0,01	0,04	0,04
G	AQUACON	Média	0,06	5,85	1,55	0,23	4,38	2,85	6,14
		mín	0,01	3,82	0,84	0,002	2,95	0,56	3,54
		Máx	0,95	10,9	3,67	3,63	6,33	35	12,0
	IH	X	–	7,23	1,45	0,003	4,11	2,02	5,97
		δ	–	0,06	0,01	–	0,04	0,02	0,01
H	AQUACON	Média	6,89	6,01	32	0,25	1,10	107	393
		mín	2,75	4,38	19,5	0,04	0,70	35	21
		Máx	9,82	8,67	64	2,81	3,37	140	520
	IH	Média	6,77	7,10	30	0,102	1,62	32	412
		δ	0,02	0,09	0,38	0,002	0,01	0,56	4,50
I	AQUACON	Média	9,46	38	33	9,02	40	3,50	49
		mín	4,81	4,40	23	0,41	20	44	21
		Máx	12,8	54	43	14,0	56	3,50	63
	IH	Média	9,80	51	23	11,0	39	32	52
		δ	0,04	0,25	0,13	0,134	0,52	0,03	0,74
J	AQUACON	Média	9,15	10,9	10,7	2,03	12,5	11,7	24
		mín	0,08	1,40	1,05	0,32	4,65	1,07	18,1
		Máx	12,1	25	18,9	3,31	15,9	15,0	32
	IH	Média	9,16	25	9,27	2,30	–	11,7	24
		δ	0,05	0,17	0,05	0,046	–	0,09	0,10
Digestão de laboratórios									
L	AQUACON	Média	12,8	143	94	1,73	45	142	529
		mín	1,19	18,6	10,1	0,20	4,20	12,7	62
		Máx	31	231	125	2,77	80	253	666
	IH	Média	13,8	199	91	1,88	29	146	528
		δ	0,14	4,54	2,33	0,08	0,56	1,83	5,62
M	AQUACON	Média	1,95	226	74	0,40	172	90	354
		mín	0,11	9,64	24	0,11	6,31	0,98	19
		Máx	24	839	202	2,38	346	203	2300
	IH	X	0,97	375	75	0,21	227	110	306
		δ	0,35	6,75	1,58	–	3,96	4,08	9,74
N	AQUACON	Média	426	560	1870	20	68	9235	26044
		mín	3,00	202	198	0,19	12,06	9,62	31
		Máx	663	3122	4786	258	130	15500	59980
	IH	Média	432	535	1958	6,35	108	10675	27087
		δ	5,50	28	41	0,082	1,93	170	729
O	AQUACON	Média	3,66	205	206	1,50	139	668	1321
		mín	0,02	30	75	0,11	33	42	397
		Máx	25	810	481	18,8	266	1020	2831
	IH	Média	1,01	332	377	0,18	173	744	1353
		δ	0,17	4,06	8,29	0,011	1,75	6,36	12,9
P	AQUACON	Média	19,1	171	778	9,43	66	510	510
		mín	3,26	56	223	0,86	22	13,4	13,4
		Máx	98	468	2162	86	116	714	714
	IH	Média	17,5	210	817	9,02	110	583	583
		δ	1,52	18,8	13,4	0,983	4,66	51	72

Tabela 6 – Média, mínimo, Máximo e desvio das amostras de sedimento do AQUACON

As amostras A e E são referentes a soluções limpas contendo metais preparadas em laboratório, as amostras F a J são referentes a amostras de sedimento digeridas pelo AQUACON e analisadas pelos diferentes laboratórios e as amostras L a P são amostras de sedimento digeridas pelos laboratórios.

Como se pode verificar, de um modo geral, o valor médio obtido pelo IH para os diferentes metais está dentro do valor médio dos restantes laboratórios que participaram nos exercícios.

4. Utilização de materiais de referência

Os materiais de referência sedimento estuarino BCR-277 e sedimento marinho BCR-320 têm sido utilizados desde a década de 90 de um modo sistematizado. Cada um dos materiais de referência além do valor certificado apresentam a incerteza associada a esse valor. Foram efectuados gráficos com o valor certificado para cada metal e a tracejado estão representadas as respectivas incertezas^{15,16}. Os resultados obtidos pelo laboratório dos metais desde 1994 estão representados na figura 6.

Pode-se concluir que de um modo geral os resultados obtidos não se afastam significativamente dos valores certificados.

5. Conclusões

A participação em exercícios de intercalibração, assim como a utilização de materiais de referência certificados, contribuem para o processo de avaliação do desempenho do laboratório.

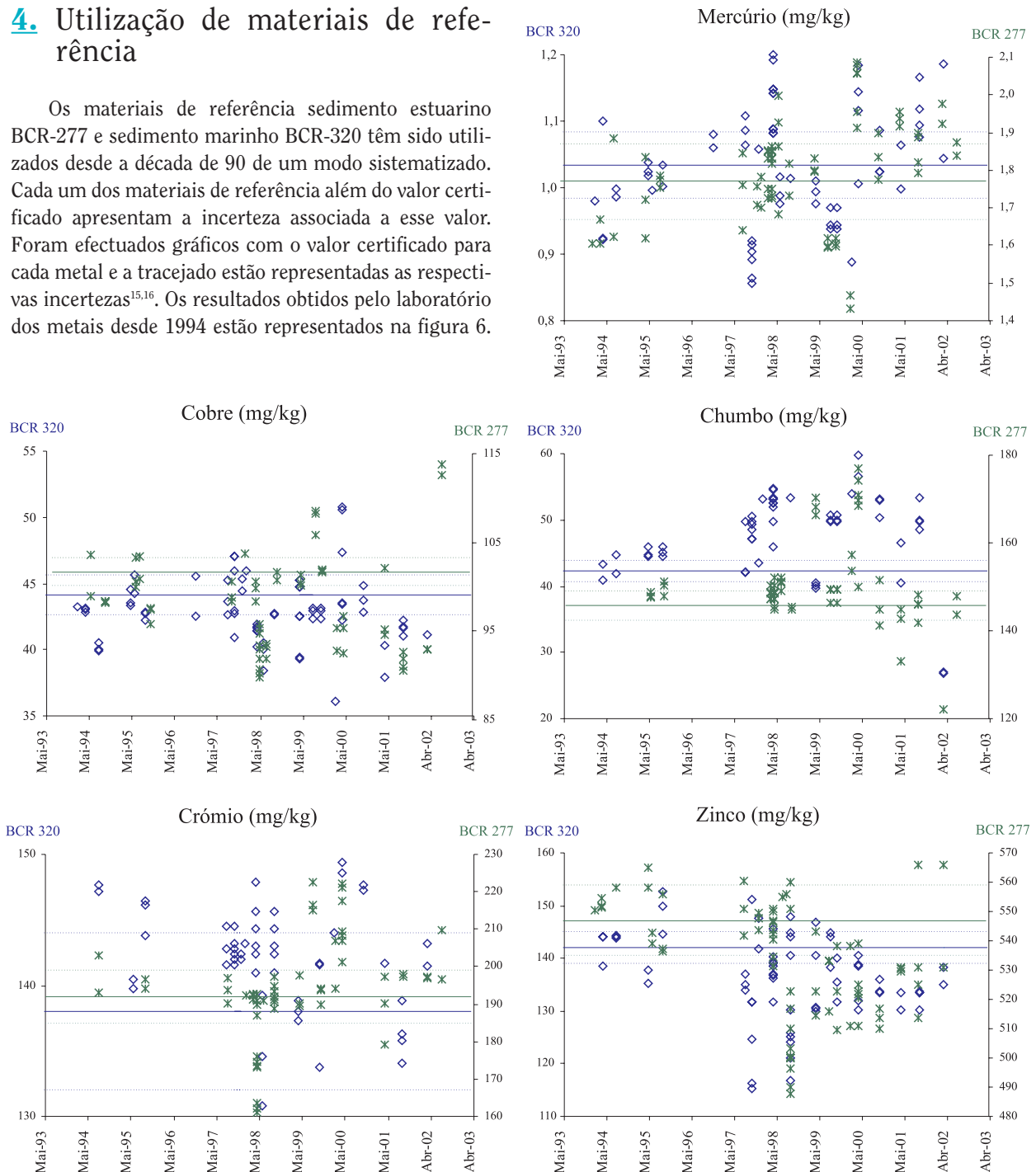


Figura 6 – Valor certificado (—), incertezas (.....) e resultados obtidos pelo IH para o Cu, Cr, Hg, Pb e Zn

Os resultados obtidos nas intercalibrações com as amostras de água apresentam valores de Z satisfatórios, questionáveis e por vezes aparecem também valores não satisfatórios. Considera-se que a técnica de extracção de águas deve ser estudada de modo a se identificar a razão dos valores de Z obtidos.

Quanto às amostras de seres vivos, estas deixaram de ser analisadas de um modo contínuo nos laboratórios do IH, pelo que deixou de haver participação nos exercícios de intercalibração. Os exercícios em que houve participação do laboratório QM os valores de Z foram satisfatórios de um modo geral, excepto para os metais cádmio e chumbo.

Dos resultados obtidos nas intercalibrações com as amostras de sedimento para os diferentes metais conclui-se que o desempenho do laboratório para os metais cobre, zinco, ferro, chumbo e manganês é satisfatório. O cádmio tem melhorado significativamente a partir de 1998. O crómio embora se possa considerar com um desempenho aceitável, parece haver necessidade de efectuar um estudo visando identificar a razão da natureza dos desvios. O lítio e o alumínio apresentam uma melhoria a partir de 2001, com desempenho satisfatório, devendo no entanto ser mantidos sob vigilância. O mercúrio e o níquel apresentam 3 situações cujo desempenho é considerado questionável, pelo que também devem analisados cuidadosamente.

Quanto aos materiais de referência, a sua utilização é importante, pois permite uma avaliação continuada dos métodos de análise.

O laboratório dos metais deverá continuar a trabalhar no sentido de continuar a melhorar o seu desempenho laboratorial. Nesse sentido deverão ser consideradas algumas linhas de acção: desenvolvimento de novos métodos de extracção de metais em águas; estabelecimento de procedimentos padrão para melhorar o ambiente de trabalho do laboratório; manter ligação com laboratórios congéneres estrangeiros, visando sustentar a actualização em métodos e procedimentos; participar em acções e cursos de formação relacionados quer com a qualidade laboratorial em geral, quer com o tratamento estatístico dos resultados obtidos ou mesmo

com as técnicas utilizadas no laboratório; continuar a participação regular em ensaios interlaboratoriais, uma vez que é uma ferramenta poderosa que permite avaliar de um modo correcto o desempenho do laboratório dos metais.

Bibliografia

1. WELLS, D.E., COFINO, W.P., QUEVAUVILLER, P. and B. GRIEPINK. (1993). *Marine Pollution Bulletin*. n.º 7, 368.
2. QUEVAUVILLER, Ph. (1995). *Quality Assurance in Environmental Monitoring*, VCH New York.
3. WELLS, D. E. *et al.* (1997). *Marine Pollution Bulletin*. n.º 1-6, 109.
4. J. M. GREEN. (1996). *Analytical Chemistry*, n.º 5, 305 A.
5. C. PALMA, M. VALENÇA. (2002). Heavy metals in sediments and laboratory analytical performance: the Quasimeme contribution, poster apresentado na 7.ª Conferência Internacional da FECS – Conference on Chemistry and the Environment – Metal Speciation in the Aquatic Environment, Porto.
6. COFINO, W.P. WELLS, D.E. (1994). *Marine Pollution Bulletin*, n.º 29, 149.
7. RELATÓRIOS DO QUASIMEME. (1994-2003). «Quasimeme Laboratory Performance Studies», dos diferentes ensaios interlaboratoriais.
8. B. MAGNUSSON, S. WESTERLUND. (1980). *Marine Chemistry*, n.º 8, 231.
9. D. H. LORING. (1990). *Marine Chemistry*, n.º 29, 155.
10. T. VINHAS, M. VALENÇA, A. CARVALHO. (1987). *Anais do Instituto Hidrográfico*, n.º 8, 103.
11. LORING, D. H., RANTALA, R.T. T. (1990). *Techniques in Marine Environmental Sciences*, n.º 9. International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen.
12. WELZ, BERNHARD. (1976). *Atomic Absorption Spectroscopy*, Verlag Chemie, Weinheim, New York.
13. M. COQUERY, S. AZEMARD, S.J. DE MORA. (2000). *Report* n.º IAEA/AL/127, IAEA/MEL/70, International Atomic Energy Agency Marine Environment Laboratory, Monaco.
14. M. BIANCHI, A. FOTI, S. STELLA, R. VIVIAN, F. BO, H. MUNTAU. (2000). Draft Report, Environment Institute, Joint Research Centre, Italy.
15. B. GRIEPINK, H. MUNTAU. (1988). BCR Information Reference Materials. Report EUR 11850 EN.
16. SHIER BERMAN. (1989). Information Reference Materials, National Research Council Canada.

Renovação de constantes harmónicas: critérios e procedimentos utilizados no IH

Leonor Martins, ASSESSORA PRINCIPAL

Marina Serpa, ASSESSORA PRINCIPAL

Joana Mano Reis, BOLSEIRA

Resumo As variações da altura de água podem ser representadas pela soma de um número finito de termos harmónicos aos quais se chamam constituintes harmónicas da maré. Chamam-se constantes harmónicas (CH) aos pares de valores (amplitude, fase) de cada constituinte.

As CH não dependem do tempo e, sendo típicas de cada porto, constituem a base fundamental para a caracterização da maré num dado local sendo que, delas dependem a boa qualidade das previsões.

Fenómenos como a erosão, assoreamentos e obras portuárias podem alterar as características da maré; esse facto torna importante a renovação, sempre que possível, das constantes harmónicas nos diversos portos.

Irão ser aqui abordados os procedimentos e os critérios usados no Instituto Hidrográfico para a renovação das constantes harmónicas da maré de um porto. O cálculo das CH é efectuado em diversos períodos independentes com a mesma duração; posteriormente é analisada a coerência do vector representativo de cada constituinte nos diferentes troços.

É apresentado o último estudo aplicado ao caso concreto da renovação das CH no porto de Leixões.

Abstract *Water height variations may be represented by the sum of a finite number of harmonic terms, named tide harmonic constituents. Harmonic constants (HC) are the pair of values (amplitude and phase) for each constituent.*

The HC are not a function of time and so are typical for each harbour. In this way, they constitute the fundamental basis for the characterization of the tide in a given place, as well as they are the main responsible for good quality predictions.

Erosion, siltation and harbour constructions may alter the tide characteristics; thus, it is important to frequently renew the HC.

This paper describes the criteria and procedures used in the Hydrographic Institute for the renewal of HC in a certain harbour. The determination of the HC is made in several independent periods with the same length of time; later, the coherence of the representative vector of each constituent is analyzed in the given periods.

The last study, applied to the renewal of the HC of Leixões' harbour is presented here.

1. Introdução

O desejo de prever a maré, aliado aos conhecimentos de Astronomia, Física e Matemática levou os cientistas do século XVII, nomeadamente Newton, a tentar encontrar a fórmula de previsão de maré sem recurso a observações. A Teoria de Equilíbrio desenvolvida por Newton retrata uma situação simplificada dado que foram desprezados os continentes e ilhas, considerando-se que o planeta estava inteiramente coberto por um único oceano com profundidade constante reagindo instantaneamente às forças geradoras da maré (efeito combinado das forças gravítica e centrífuga). Apesar desta teoria descrever os principais fenómenos que ocorrem com as marés, não era suficiente para uma descrição rigorosa da realidade: as amplitudes previstas eram, em geral, inferiores às observadas e, por outro lado, havia um desfasamento, normalmente um atraso da maré observada em relação à prevista.

De modo a diminuir as diferenças registadas entre observações e previsões, o matemático francês Pierre-Simon Laplace (1749-1827) desenvolveu a Teoria Dinâmica das Marés em que se encara a maré como uma onda. Nesta teoria e devido ao facto dos oceanos não serem suficientemente profundos para que as ondas longas se propaguem como ondas livres de águas pouco profundas, a maré não consegue acompanhar a passagem da Lua à volta da Terra e sofre um atraso relativamente à situação prevista pela Teoria de Equilíbrio. Segundo Laplace, o movimento do mar tem o mesmo período que uma força perturbadora do equilíbrio e rigorosamente periódica, a diferença de fase entre o movimento e a força mantém-se constante e a amplitude do movimento é proporcional à intensidade da força.

A fórmula então deduzida – essencialmente uma soma de cosenos, tal como a usada hoje – trouxe-nos algo de muito importante uma vez que os períodos das várias constituintes da maré eram exactamente os

previstos. Era necessário calcular as amplitudes, e em relação aos argumentos dos cosenos, bastava calcular o atraso de fase, uma constante para cada local. Aos pares de valores (amplitude, fase) passaram a chamar-se constantes harmónicas (CH).

A análise harmónica consiste, pois, na determinação da amplitude h (em metros) e da fase g (em graus), das diferentes constituintes harmónicas da maré, a partir da série de alturas de água registadas. A fase de uma constituinte harmónica de maré é o atraso em relação à chamada maré de equilíbrio¹. Na prática, as CH vão ser calculadas como sendo os parâmetros da *fórmula harmónica* que melhor se ajustam às séries temporais:

$$y(t) = A_0 + \sum_i f_i \cdot h_i \cdot \cos(\omega_i \cdot t + (V_0 + u)_i) - g_i \quad (1)$$

onde $y(t)$ é a altura de água no instante t , os valores ω_i representam as velocidades angulares das ondas constituintes, V_0 é o seu argumento inicial, isto é o argumento na maré de equilíbrio¹ para o instante inicial da série de dados e A_0 representa o nível médio do porto, podendo considerar-se esta variável como uma constante harmónica de muito longo período.

A importância da aplicação da fórmula harmónica deve-se à sua universalidade ou seja, serve para qualquer tipo de maré. Na equação (1), a velocidade angular de cada onda é conhecida e pode-se determinar o argumento inicial $(V_0 + u)_i$ através de tabelas publicadas (SCHUREMAN, P., 1988). Como incógnitas resultam h_i , g_i e A_0 . No algoritmo usado pelo IH o ajustamento é feito por mínimos quadrados. A previsão faz-se igualmente recorrendo à fórmula harmónica, sendo usado o nível médio adoptado no lugar de A_0 .

As constantes harmónicas constituem assim a base fundamental para a boa qualidade das previsões. Mercê de obras portuárias e fenómenos como a erosão e os assoreamentos, as características da maré num dado local sofrem alterações ao longo do tempo, pelo que é de extrema importância a renovação frequente das CH. São aqui descritos os procedimentos e critérios associados ao método de renovação das CH utilizado no IH.

O porto de Leixões foi escolhido como exemplo por ser um dos portos portugueses com uma série mais longa de dados de maré. Com efeito, e como se verá mais adiante, alguns dos testes mais importantes só são possíveis quando se dispõe de uma grande quantidade de dados.

¹ A maré de equilíbrio é a maré astronómica de referência que resultaria directamente das forças atractivas do Sol e da Lua, caso não existissem massas continentais, a profundidade do oceano fosse uniforme e a massa líquida se ajustasse de forma instantânea às variações da força geradora de maré.

2. Características dos dados de maré

Sendo a maré uma onda de baixa frequência e de origem astronómica, é importante distingui-la de outras ondas de maior frequência com outra origem como a ondulação e as seichas. Na prática, é possível filtrar estes dois fenómenos medindo-se apenas a maré através da utilização de um poço (*stilling well*, ou seja, poço tranquilizador) onde estão convenientemente controladas as condições de entrada e saída da água.

A maré registada tem energia em várias bandas de frequência. A figura 1 apresenta um espectro de frequência da maré de Leixões, mostrando as energias associadas às sete espécies de ondas constituintes da maré (longo período, diurna, semi-diurna, terço-diurna, quarto-diurna, sexto-diurna e oitavo-diurna).

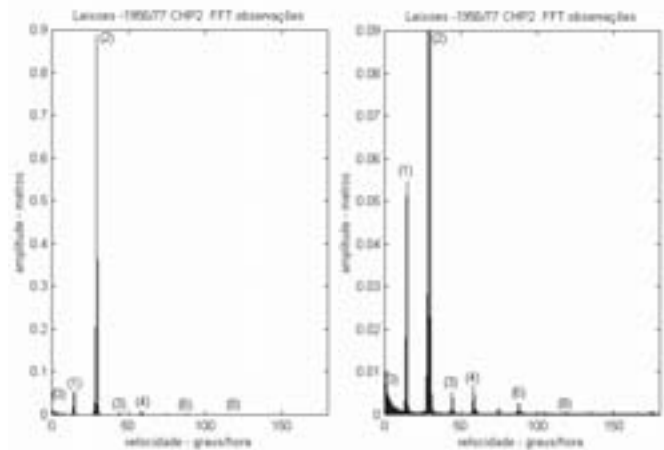


Figura 1 – Análise em frequência dos dados de maré de Leixões. As sete bandas de frequência consideradas na maré estão numeradas: (0) longo período, (1) diurnas, (2) semi-diurnas, (3) terço-diurnas, (4) quarto-diurnas, (6) sexto-diurnas e (8) oitavo-diurnas. Verifica-se que a maior parte da energia está concentrada na banda de frequências das ondas semi-diurnas; o gráfico da direita tem uma escala 10 vezes superior à escala do gráfico da esquerda de modo a que seja possível distinguir a energia associada às bandas de frequência não semi-diurna.

2.1 Intervalo de amostragem (Δt)

O intervalo de amostragem Δt da série de dados de marés deve ser escolhido de modo a que as mais elevadas frequências (f_i) verifiquem a expressão:

$$\Delta t \leq \frac{1}{2f_i} \quad (2)$$

ou então

$$f_i \leq f_N = \frac{1}{2\Delta t} \quad (3)$$

onde f_N se designa por frequência de corte ou frequência de Nyquist (ver figura 2). Se forem introduzidos na análise harmónica dados que incluam ondas de frequência superior à frequência de Nyquist, vão-se obter frequências diferentes das que realmente existem («aliasing»). Uma vez que as bandas de frequência superiores à oitavo-diurna (ou 8/24 ciclos por hora) não contêm

praticamente energia, basta que o intervalo de amostragem seja igual a 1 hora:

$$\frac{8}{24} \text{cph} \leq \frac{1}{2\Delta t} \Rightarrow \Delta t \leq 1.5h \quad (4)$$

É este o valor usado internacionalmente e que dá origem às alturas horárias da maré (AH).

Assim sendo, nos marégrafos mais antigos, onde a altura de água é registada continuamente por um aparato em folhas de papel graduadas (maregramas), são digitalizadas as alturas horárias. Actualmente, os marégrafos de nova tecnologia fornecem-nos directamente os valores numéricos por linha telefónica, em geral de 6 em 6 minutos. Também neste caso são apenas obtidas as alturas horárias para efeito de arquivo².

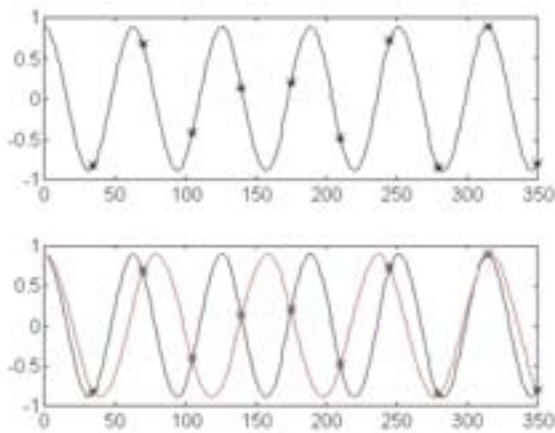


Figura 2 – Exemplo de curva com frequência superior à frequência de Nyquist. Na figura de cima, a amostragem assinalada pelos asteriscos, é manifestamente insuficiente para reproduzir a curva verdadeira. Com efeito, o ajustamento conduz a uma curva de menor frequência (assinalada a vermelho na figura em baixo), que a curva real (assinalada a preto na mesma figura).

2.2 Duração da série temporal (T)

Duas ondas de períodos T_1 e T_2 são separáveis no período T se se verificar a seguinte desigualdade (Critério de Rayleigh):

$$T|w_2 - w_1| \geq 360^\circ \text{ OU } T \geq \frac{T_1 \times T_2}{|T_1 - T_2|} \quad (3)$$

onde w_2 e w_1 são respectivamente as velocidades angulares das ondas de períodos T_1 e T_2 .

Na realidade, para que o ajustamento à soma de duas sinusóides de velocidades diferentes produza resultados satisfatórios é necessário dispor de uma série temporal suficientemente longa. A figura 3 pretende ilustrar a verificação intuitiva deste critério.

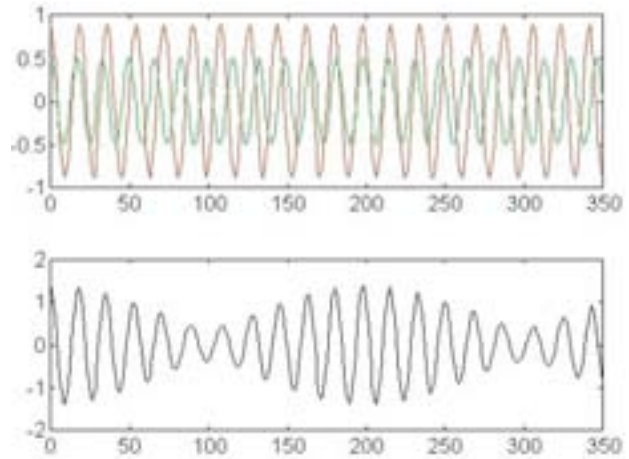


Figura 3 – Ilustração do critério de Rayleigh.

As duas ondas apresentadas na figura de cima, cuja soma está representada na figura em baixo, só se separam em 200 unidades.

Em virtude do ciclo nodal lunar (18.6 anos) ser o maior período que se conhece em relação ao fenómeno da maré, o ideal seria dispor de 19 anos consecutivos de dados. Na prática, como tal não é possível, usa-se um ano de dados³. Tal opção permite separar a maior parte das ondas constituintes tendo sido, igualmente, adoptada internacionalmente.

2.3 Validação

Logo que os dados estão digitalizados, ou seja, transformados em AH, a primeira tarefa é a sua validação. Tal etapa compreende vários testes para detectar erros (desde enganos ao teclar, em geral em valores pontuais, a atrasos ou avanços de relógio, que podem afectar vários dias seguidos) bem como a sua correcção. São usados vários métodos, nomeadamente o recurso a fórmulas interpoladoras e a comparação de observações com as previsões para o mesmo período.

3. Renovação das CH (porto de Leixões)

As CH, tal como o nome indica, são supostamente constantes ou seja, podem ser consideradas como várias medições do mesmo fenómeno: a maré de um determinado porto.

Quando já se dispõe de uma quantidade razoavelmente grande de dados validados, e nos propomos renovar as CH de um porto, os dados são divididos em vários troços do mesmo tamanho, por exemplo um ano, são calculadas as CH para os diferentes períodos e é feita a comparação entre os valores obtidos, os quais se espera

² No caso particular de Leixões, a maior parte dos dados tem origem em maregramas já que, só em Julho de 2004, foi aí colocado um marégrafo de nova tecnologia; o marégrafo tradicional continua no entanto em funcionamento, servindo os maregramas de *back-up* para eventuais falhas do novo marégrafo.

³ O uso de um ano de dados para representar um fenómeno com a periodicidade de quase 19 anos é possível recorrendo na fórmula harmónica (ver a equação 1) a correcções f e u , que não dependem do local e cuja lenta variação ao longo de 19 anos é conhecida.

que sejam semelhantes nos diversos troços. Na realidade não é isso que acontece; em regra são encontradas discrepâncias que podem decorrer da diferente qualidade dos dados em cada troço, ou da ocorrência demasiado frequente de condições meteorológicas irregulares.

3.1 Comparação de listas de CH

Tendo em conta que o número de CH que podem ser usadas nas previsões do IH é de 62⁴, e que, com um ano de dados, em geral acabamos por escolher cerca de 30 CH, e sendo as CH dois valores, amplitude e fase, por cada constituinte, torna-se difícil quer a comparação visual das diversas listas, quer a avaliação das discrepâncias encontradas.

Para facilitar a análise dos resultados, é calculada a média vectorial das CH nos diversos troços; se presumimos que as CH são tanto melhores quanto a semelhança entre si nos vários troços, as mesmas deverão igualmente ser próximas da média.

A tabela 1 apresenta as CH de 5 troços, correspondentes ao porto de Leixões, sendo as amplitudes representadas por um h e as fases por um g . Cada troço está identificado pelo seu dia central representado por dois parâmetros: ano e dia Juliano. A média vectorial das CH nos diversos troços encontra-se à esquerda representada pelas suas componentes⁵ amplitude e fase, H e G respectivamente. Tome-se o exemplo da lista de CH centrada no dia 5 de 1983, onde a constituinte M_2 tem amplitude 1040mm e fase 74.4° enquanto que na média vectorial a mesma constituinte tem, respectivamente, os valores 1039mm e 74.0°.

Mesmo assim subsiste a dificuldade de comparar visualmente vários pares de valores um a um. Foram então calculados, para os diversos troços, os erros representados pelos desvios à média isto é, a diferença vectorial entre as CH de cada série e o seu valor médio. Na tabela 1, estes erros estão representados por um e à esquerda das CH a que dizem respeito.

Note-se que se tomou como erro o valor absoluto das diferenças vectoriais. Com efeito, quer o erro seja exclusivamente em fase ou em amplitude, o seu valor absoluto tem o mesmo significado; por exemplo, um erro de 4mm na onda M_2 pode ser representado por uma sinusóide com a velocidade da M_2 que tem em cada período completo um máximo e um mínimo de 4mm. Este aspecto é ilustrado na figura 4, onde são representados respectivamente, um erro apenas em fase (a) e

outro apenas em amplitude (b), ambos com o mesmo valor absoluto; neste caso, a sinusóide que cada um deles representa tem a mesma amplitude, estando os valores extremos desfasados de 90°.

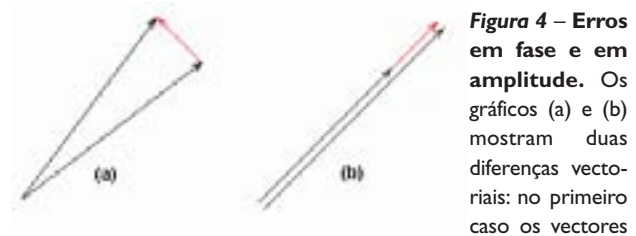


Figura 4 – Erros em fase e em amplitude. Os gráficos (a) e (b) mostram duas diferenças vectoriais: no primeiro caso os vectores

diferem apenas em fase, no segundo apenas em amplitude; em ambos os casos o módulo da diferença é o mesmo.

É importante ter também em conta os aspectos relativos; no mesmo exemplo representado na tabela 1, um erro de 4mm na onda M_2 representa 1/200 da sua amplitude (veja-se o troço centrado no dia 87 de 1976) enquanto que, no mesmo troço, o erro de 1mm na onda $2Q_1$ representa metade da sua amplitude; com efeito, essa constituinte foi rejeitada no cálculo das constantes harmónicas oficiais (ver figura 10).

Finalmente, e embora o objectivo inicial deste método tenha sido a escolha de um período bom para a renovação das constantes harmónicas, na prática verificou-se que também é útil para analisar até que ponto cada constituinte é correctamente avaliada nos vários períodos usados; tal pode fazer-se através de uma leitura «horizontal» dos erros. Voltando à tabela 1, verifica-se que a constituinte S_a , a Solar Anual, é muito pouco estável, e o mesmo se passa com a S_{sa} , Solar Semi-Anual, o que determinou, nos últimos anos, a sua não inclusão na maior parte das listas de CH oficiais. A razão deste facto é bem conhecida: o nível médio do mar depende de vários factores alheios à maré, como ventos e pressão atmosférica. Esses factores aleatórios de origem meteorológica funcionam como ruído, afectando o cálculo das ondas de longo período.

O caso da pressão atmosférica é muito óbvio; veja-se por exemplo a figura 5. As ondas de longo período não foram usadas, pelas razões atrás invocadas, nas CH que deram origem às previsões referentes a esta figura. Assim sendo, os desvios entre observações e previsões acabam por resultar aproximadamente no nível médio instantâneo. Com efeito, a curva a azul apresenta um ruído de curto período associado por vezes a ondas não contempladas⁶ ou a problemas com o equipamento⁷.

⁶ Veja-se, por exemplo, o caso da onda $2Q_1$ apresentado na figura 10.

⁷ Por exemplo, entupimentos no poço que se reflectem, não só em pequenas diferenças de amplitude, como também e, sobretudo, em atrasos que originam um ruído semi-diurno.

⁴ Por limitação do programa de previsão; no entanto, as 62 ondas constituintes que o programa contempla satisfazem as necessidades nas várias regiões cuja maré é calculada no IH.

⁵ Como se sabe, o cálculo da média vectorial passa pela transformação da amplitude e fase em coordenadas rectangulares; porém, a média vectorial obtida em coordenadas rectangulares é de novo transformada em amplitude e fase para efeitos comparativos.

LEIXÕES	Média Vectorial			1972-043 365 dias			1974-064 365 dias			1976-087 365 dias			1983-005 365 dias			1985-180 365 dias				
	Onda	E	H	G	e	h	g	e	h	g	e	h	g	e	h	g	e	h	g	
1 M2	6.	1039.	74.0	8.	1036.	73.6	7.	1039.	73.6	4.	1038.	74.2	7.	1040.	74.4	4.	1041.	74.2		
2 S2	2.	364.	102.3	3.	367.	102.1	1.	365.	102.2	1.	363.	102.4	2.	363.	102.6	2.	362.	102.4		
3 N2	2.	221.	55.4	0.	221.	55.4	5.	222.	54.2	2.	220.	55.8	1.	221.	55.6	2.	222.	56.0		
4 K2	2.	104.	100.0	1.	103.	99.7	2.	105.	100.9	2.	105.	100.7	1.	105.	99.5	2.	103.	99.1		
5 K1	1.	68.	57.7	1.	67.	58.1	2.	70.	56.9	1.	68.	56.5	2.	68.	59.3	1.	69.	57.7		
6 O1	1.	63.	316.7	1.	64.	317.3	1.	62.	316.0	0.	63.	316.5	1.	63.	315.9	1.	62.	317.8		
12 nu2	2.	42.	58.4	1.	42.	56.7	2.	42.	61.6	3.	44.	55.5	2.	41.	60.2	1.	41.	58.1		
14 mu2	1.	38.	31.5	1.	37.	32.1	1.	37.	31.5	1.	38.	29.8	1.	38.	32.9	0.	38.	31.4		
11 2N2	2.	32.	36.3	2.	32.	32.6	1.	32.	38.2	2.	31.	33.9	3.	30.	41.2	3.	35.	35.9		
10 L2	3.	24.	85.6	5.	28.	90.5	1.	25.	85.6	6.	18.	79.9	3.	26.	82.1	2.	22.	87.9		
7 P1	1.	22.	51.5	1.	22.	53.2	0.	22.	52.0	2.	23.	48.6	1.	22.	50.3	3.	19.	53.6		
15 T2	2.	21.	97.7	1.	21.	95.3	2.	22.	99.4	2.	20.	91.4	2.	20.	102.9	1.	20.	99.5		
18 Q1	3.	17.	263.1	4.	20.	272.6	2.	16.	266.6	2.	18.	255.3	3.	15.	267.1	3.	19.	254.3		
23 S1	3.	9.	11.7	1.	9.	5.9	6.	13.	38.6	1.	8.	5.4	2.	8.	359.9	3.	9.	355.7		
8 M4	1.	9.	204.0	2.	11.	201.8	1.	10.	201.7	1.	10.	199.8	1.	8.	207.4	2.	8.	211.7		
44 MNS2	1.	9.	4.6	1.	10.	8.4	0.	9.	3.8	0.	9.	7.1	1.	8.	7.3	2.	10.	356.9		
33 Sa	37.	7.	275.8	31.	34.	338.8	30.	23.	85.8	35.	36.	199.1	34.	28.	131.4	54.	61.	292.0		
24 M3	1.	6.	292.8	1.	6.	300.4	1.	5.	293.2	1.	5.	292.3	1.	6.	283.3	0.	6.	294.9		
9 MS4	3.	6.	255.1	2.	8.	263.7	1.	5.	246.5	5.	10.	227.7	3.	5.	284.1	2.	5.	275.2		
48 KJ2	1.	6.	304.0	1.	6.	291.3	1.	6.	297.3	2.	5.	318.8	1.	7.	297.4	2.	6.	319.1		
16 R2	2.	5.	98.2	1.	6.	103.0	2.	3.	115.7	1.	5.	83.1	3.	4.	64.5	3.	7.	115.9		
13 lamda2	1.	5.	78.5	1.	4.	77.4	2.	3.	73.2	2.	6.	90.4	1.	5.	69.7	2.	7.	77.6		
34 Ssa	36.	5.	65.0	44.	39.	277.5	22.	19.	176.3	23.	23.	345.9	58.	63.	59.4	33.	32.	156.2		
53 MN4	1.	4.	160.1	1.	5.	169.2	1.	4.	149.8	0.	4.	161.3	1.	4.	150.1	1.	3.	170.4		
35 sigma1	1.	4.	233.8	1.	5.	240.2	0.	4.	234.3	1.	5.	239.8	2.	2.	249.2	2.	3.	200.5		
22 rho1	1.	3.	279.9	1.	3.	269.6	0.	3.	276.1	1.	4.	265.5	1.	3.	297.7	1.	3.	295.7		
25 M6	1.	3.	169.8	0.	3.	173.6	0.	3.	162.8	0.	3.	161.1	1.	4.	181.1	0.	3.	166.7		
21 2Q1	1.	3.	199.3	1.	2.	222.6	1.	4.	193.3	1.	2.	219.1	1.	3.	181.5	0.	3.	196.6		
59 2MS6	0.	3.	222.0	0.	3.	217.5	0.	3.	213.6	0.	3.	224.0	0.	3.	217.8	1.	3.	237.0		
52 SK3	1.	2.	355.0	0.	2.	1.5	0.	2.	345.5	0.	2.	359.7	1.	3.	351.5	1.	1.	2.5		
49 2MK3	1.	1.	261.9	1.	1.	325.5	0.	1.	273.2	1.	1.	144.0	1.	2.	283.0	1.	1.	193.5		

Tabela 1 – Lista de comparação de constantes harmónicas para diversos troços. A magenta estão representados quatro exemplos de ondas rejeitadas na lista de CH oficiais.

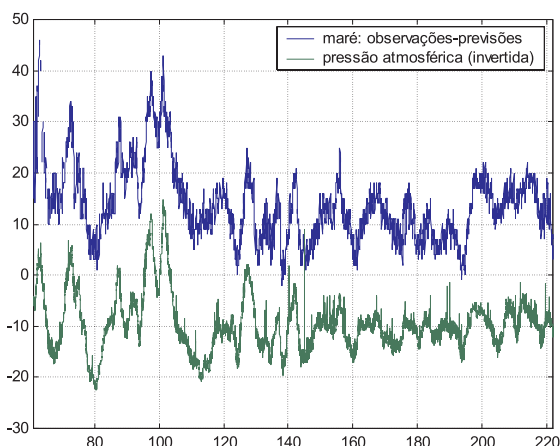


Figura 5 – Nível médio versus pressão atmosférica (Porto de Sines⁸). Nesta figura é evidenciada a relação entre a pressão atmosférica e a evolução do nível médio, representada pelas diferenças entre observações e previsões.

Para melhor visualização do que se passa com cada constituinte usa-se mais um parâmetro, a média simples do parâmetro anteriormente definido, ou seja os erros em valor absoluto, de cada onda nas várias séries. Esse valor está inscrito na Tabela 1 e representado por um *E* à esquerda da média vectorial das CH.

Numa etapa inicial de análise de CH, quando não há uma grande quantidade de dados, são utilizados troços curtos a fim de identificar os períodos de dados que, devido a condições meteorológicas adversas ou a problemas técnicos no equipamento, produzem CH de menor qualidade. Posteriormente, evitar-se-á o uso desses períodos quer nas CH quer no cálculo das médias vecto-

⁸ A razão do uso do Porto de Sines neste exemplo, é porque de momento é o único com o qual já trabalhamos habitualmente com dados de pressão atmosférica em comparação com dados de maré.

riais. A figura 6 ilustra uma situação em que grandes tempestades afectaram as observações de alturas horárias provocando, para esse período, CH com valores muito afastados da média.

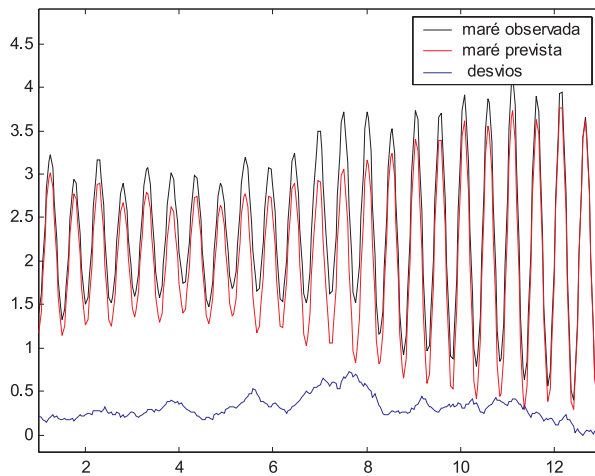


Figura 6 – Comparação entre observações e previsões de alturas de água e diferença entre elas. Exemplo de uma situação de tempestade de grandes proporções.

Como já foi referido, os testes finais são utilizados também para se escolher as constituintes que farão parte da lista de CH oficiais e as constituintes a rejeitar na mesma lista; para esta última tarefa são ainda feitos, a título complementar, outros testes descritos a seguir.

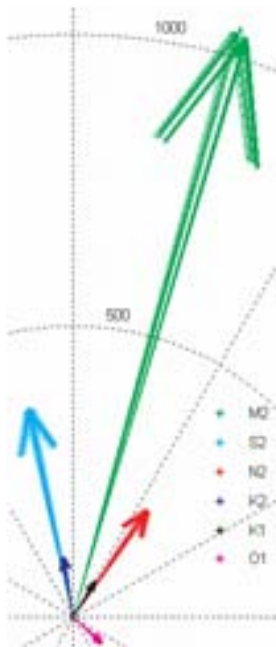


Figura 7 – Visualização gráfica dos vetores representativos de cada constituinte para os vários troços. São aqui representados os vetores das 6 principais constituintes, tal como resultaram num teste feito com 18 troços. As amplitudes estão em milímetros.

3.2 Visualização gráfica dos vetores representativos de cada constituinte

Outro teste que pouco difere do anteriormente descrito, consiste na visualização gráfica dos vetores representativos de cada constituinte para os vários troços. Observe-se a figura 7 onde se encontram representados os vários vetores obtidos para a onda M_2 (a verde) para um conjunto de CH obtidas em 18 troços diferentes. Na mesma figura estão também representados os vetores das constituintes semi-diurnas S_2 , N_2 e K_2 e as constituintes diurnas K_1 e O_1 . Este gráfico permite uma visão da importância relativa das quatro constituintes de maior amplitude, todas semi-diurnas; por outro

lado, a quase coincidência dos vetores mostra como as várias séries usadas poderão ser consideradas igualmente boas para a obtenção das CH oficiais.

A figura 8 representa os vetores para os mesmos 18 troços de dados de AH para as ondas que em termos de amplitude se situam entre a 7.^a e a 13.^a posição.

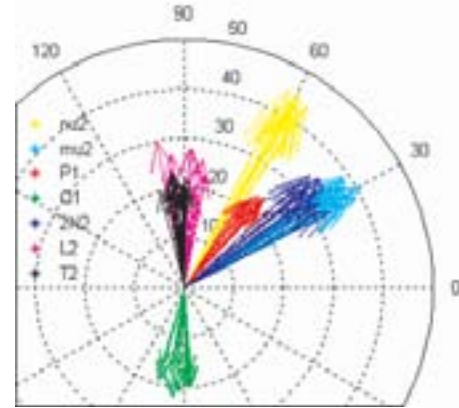


Figura 8 – Visualização gráfica dos vetores representativos de cada constituinte para os vários troços. As constituintes aqui representadas têm amplitudes bastante inferiores às da figura anterior (figura 7); por essa razão estão representadas numa escala maior e os erros (ligeiras diferenças entre os vetores que correspondem à mesma constituinte) parecem maiores. As amplitudes estão em milímetros.

Note-se que este teste, muito mais sugestivo como são sempre os gráficos quando comparados com as listas numéricas, tem a desvantagem de não discriminar os vários troços. Convém pois, realizar este tipo de teste após serem retirados os troços considerados de menor qualidade. Por outro lado é muito mais elucidativo quando se pretende avaliar o comportamento das constituintes. Veja-se por exemplo, na figura 9, o que se passa com as ondas S_a e S_{sa} , já anteriormente referidas, as quais são de rejeitar na determinação das CH oficiais.

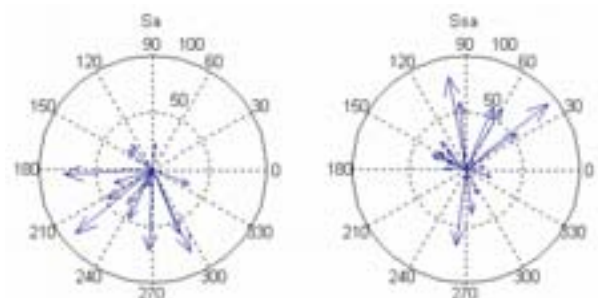


Figura 9 – Principais ondas de longo período, S_a (solar-anual) e S_{sa} (solar semi-anual). Estas ondas são instáveis pois não há coerência nem no valor da fase nem no valor da amplitude. As amplitudes estão em milímetros.

O teste de visualização gráfica dos vetores de cada constituinte é muitas vezes usado preferencialmente para decisões sobre as CH a usar ou a rejeitar em cada caso de renovação das CH de um porto, sobretudo pela

facilidade que a visão de um gráfico concede para tirar conclusões imediatas.

A figura 10 apresenta quatro ondas de pequena amplitude, das quais duas foram incluídas na lista de CH oficiais (M_6 e MN_4), e as outras foram rejeitadas ($2Q_1$ e $2MK_3$).

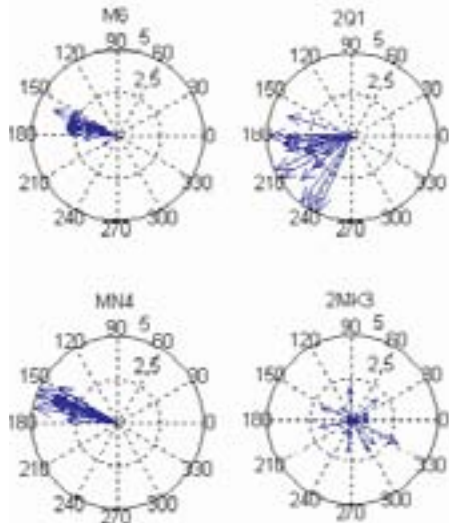


Figura 10 – Exemplo de 4 ondas de pequena amplitude. As duas ondas à esquerda M_6 e MN_4 foram ambas aceites enquanto que as da direita foram rejeitadas. A onda $2Q_1$ tem uma amplitude média de aproximadamente 4mm no entanto, não muito consistente. As amplitudes da $2MK_3$ nos diversos troços são mais pequenas e as fases

totalmente inconsistentes. Neste último caso, é razoável crer que estamos em presença apenas de ruído. As amplitudes estão em milímetros.

3.3 Análise em frequência

Falta, ainda, descrever um terceiro tipo de testes indispensável para que o processo de renovação de CH possa ser considerado, de alguma forma, completo. Os dois testes anteriormente descritos têm um factor em comum, que constitui uma limitação porque só comparam CH pondo apenas em causa o resultado do programa de análise, ou seja, se os testes dão resultados instáveis a opção de rejeição não oferece dúvidas (como exemplo observe-se o caso das Sa e Ssa); mas, se o resultado dos testes for considerado satisfatório, nada garante que as CH produzam, também, boas previsões. Até agora foi avaliada uma coerência do programa de análise em produzir CH semelhantes usando vários troços de dados. Porém, falta avaliar se os dois programas em causa, isto é, o que produz as CH (programa de análise) e o que as usa (programa de previsão) são compatíveis. Na realidade, as CH são uma entidade abstracta, sendo o objectivo principal obter previsões.

Então surge o terceiro tipo de testes, muito usado sobretudo para validação dos novos dados recebidos dos marégrafos, que consiste na comparação em tempo ou em frequência de AH observadas e previstas. Para tal, será necessário ter-se CH minimamente fiáveis, podendo utilizar-se as que já estavam em uso. Apesar deste método ser indispensável pelos motivos já referidos, normalmente não traz grandes surpresas, limitando-se a reforçar os resultados dos testes anteriores.

Quando a finalidade é renovar CH, este último teste

é feito sobretudo em frequência como alternativa ao tempo. As previsões usadas são inicialmente baseadas nas CH em utilização mas, posteriormente baseiam-se nas CH a utilizar futuramente.

A análise em frequência é efectuada usando uma função FFT (*Fast Fourier Transform*) aplicada às observações, previsões e desvios. Para uma melhor interpretação dos resultados gráficos, a variável nas abcissas, normalmente a frequência, é transformada em graus/hora para se tornar directamente comparável com as velocidades das constituintes. No eixo das ordenadas foi feita a conversão de energia para a amplitude em metros.

A figura 11 apresenta os resultados para as quatro principais constituintes semi-diurnas M_2 , S_2 , N_2 e K_2 . Note-se que nesta situação particular, em que são mostradas as ondas de maior amplitude, a escala é muito pequena. Por esta razão, observações e previsões praticamente coincidem. Os desvios só são perceptíveis próximo da frequência da onda M_2 . Nesta banda de frequências são ainda visíveis as ondas ν_2 , L_2 e T_2 ; contudo, as ondas λ_2 e R_2 , igualmente contempladas nas CH oficiais, já não são visíveis a esta escala.

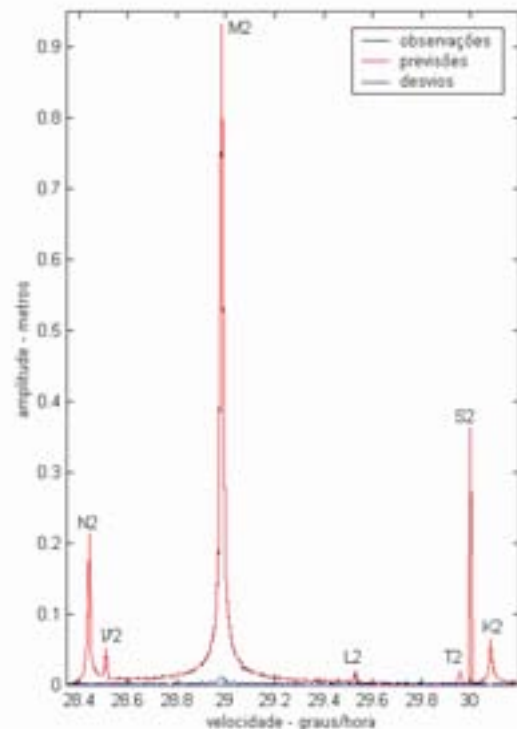


Figura 11 – FFT das quatro principais constituintes semi-diurnas: M_2 , S_2 , N_2 e K_2 . Nesta banda de frequências são ainda visíveis mais três constituintes (ν_2 , L_2 e T_2).

Nas figuras 12 e 13 são apresentados exemplos de ondas rejeitadas na lista de CH oficiais, respectivamente nas espécies semi-diurna e diurna. Os resultados para a onda $2Q_1$ confirmam as conclusões retiradas do teste já apresentado na figura 10.

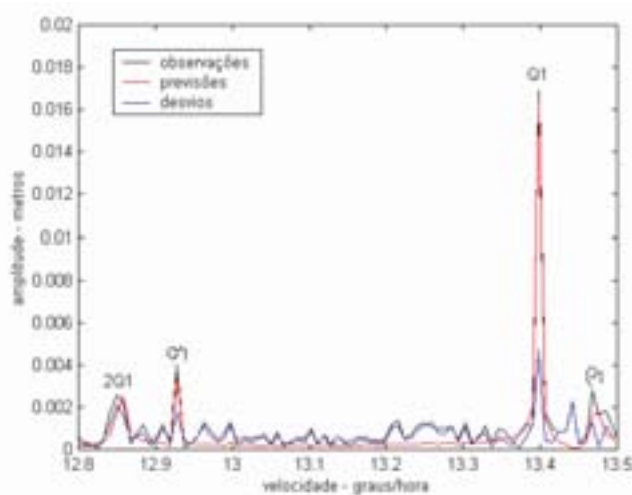


Figura 12 – FFT de quatro constituintes diurnas: $2Q_1$, Q_1 , Q_1 e ρ_1 . A onda $2Q_1$ apresenta desvios da ordem de grandeza da sua amplitude. As restantes ondas têm desvios pouco significativos quando comparados com a ordem de grandeza da sua amplitude. Apenas a onda $2Q_1$ foi rejeitada na lista das CH oficiais.

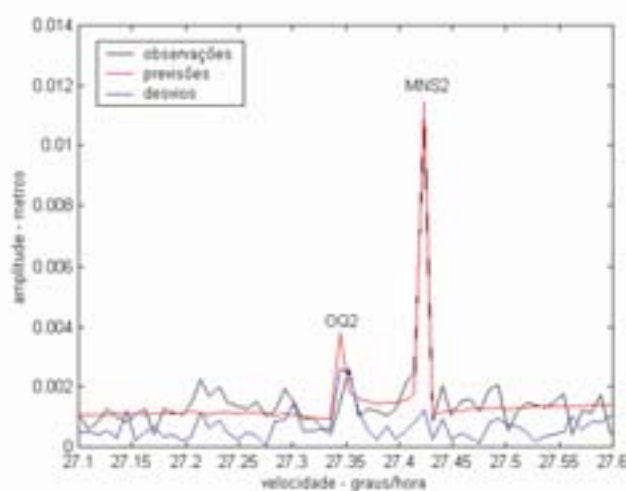


Figura 13 – FFT de duas constituintes semi-diurnas: OQ_2 e MNS_2 . A onda OQ_2 apresenta desvios da ordem de grandeza da sua amplitude enquanto que a onda MNS_2 tem desvios praticamente nulos. A onda OQ_2 foi rejeitada na lista das CH oficiais.

4. Considerações finais

Até há poucos anos as CH eram renovadas a partir de novas séries de dados validados mas sem qualquer discussão dos resultados ou escolha das ondas envolvidas. Com efeito, as constituintes estavam previamente escolhidas, dependendo apenas da duração da série.

Embora o algoritmo de análise harmónica usado no IH se mantenha basicamente o mesmo, a capacidade de memória dos actuais computadores bem como o acesso a software cada vez mais sofisticado, vieram permitir quer a manipulação e visualização de uma grande quantidade de informação quer o desenvolvimento de programação para análise crítica dos resultados, como é o caso da metodologia aqui apresentada.

O estudo mais aprofundado nesta matéria veio, por sua vez, levantar novos problemas. Tal é o exemplo de algumas ondas de amplitude razoável cuja rejeição na lista final das CH oficiais se baseia na sua suposta instabilidade em diferentes períodos. Na realidade, há que admitir que, em alguns casos, essa aparente instabilidade decorra de outras causas como por exemplo limitações dos programas de análise. Estas e outras questões são ainda objecto de estudo e mesmo a metodologia encontra-se ainda em desenvolvimento.

Referências Bibliográficas

- DOODSON, A.T. and WARBURG, H.D. (1973) *Admiralty – Manual of Tides*, Hydrographic Department, Admiralty, London, U.K.
- SCHUREMAN, P., (1988), *Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides*, U.S. Government Printing Office.
- SIMON, B., (1974), *Calcul des Constantes Harmoniques de la Marée*, EPSHOM.

A Nova Cartografia Náutica «A Carta Digital»

Paula Sanches, ENG.ª GEÓGRAFA António Silva, TÉC. SUPERIOR 2.ª CLASSE
Sousa Prelhaz, CAPITÃO-TENENTE Martins Pinheiro, PRIMEIRO-TENENTE
Mesquita Chim, PRIMEIRO-TENENTE Leonor Veiga, ENG.ª GEÓGRAFA

Resumo Portugal é um dos países membros fundadores da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), sendo representado oficialmente nesta Organização pelo Instituto Hidrográfico (IH), entidade que é signatária de especificações e normas para a produção de Cartas Náuticas Oficiais (CNO). Particularmente relevante no âmbito das atribuições do IH, descritas no Decreto-Lei n.º 134/91 de 4 de Abril, tem sido a execução e divulgação da cobertura cartográfica das águas interiores e territoriais de interesse nacional. Esta actividade é desenvolvida no IH pela Divisão de Hidrografia (Div HI).

O aparecimento das novas tecnologias de informação nas áreas de produção cartográfica e processamento de dados hidrográficos e topográficos, bem como a necessidade de automatizar a produção cartográfica, levou a que, em 1993 o IH adquirisse um Sistema de Informação Geográfica (SIG) vocacionado para a produção de cartografia náutica – CARIS (Computed Aided Resource Information System) GIS – da Universal Systems Limited (USL) do Canadá.

Desde a sua implementação, com o apoio inicial à Cartografia Tradicional (CT), até à autonomia de procedimentos que permitem hoje criar documentos em formato digital que dão origem às CNO em papel e que estão na base da construção das Cartas Electrónicas de Navegação Oficiais (CENO), um longo caminho foi percorrido pela Cartografia Assistida por Computador (CAC).

Este artigo pretende enumerar e descrever os procedimentos adoptados e a evolução na produção de cartografia náutica oficial (CNO e CENO) no IH.

Abstract Portugal is a founder member of the International Hydrographic Organization (IHO), and is officially represented in this Organization by the Portuguese Hydrographic Office (IHPT), signatory entity of specifications and standards for Official Nautical Charts (ONC) production. Distinctly relevant in the IHPT attributions scope, as defined in Portuguese Decree-Law nr.134/91, has been the production and publication of the cartographic covering of national inner and territorial waters, which is carried out within IHPT by the Hydrography Division (HI Div).

The introduction of information technologies in both the cartographic production areas and hydrographic and topographic data processing, as well as the need for cartographic production automation, led IHPT to acquire, in 1993, a Geographic Information System (GIS), dedicated to the production of nautical – CARIS (Computed Aided Resource Information System) GIS – developed by the Universal Systems Limited (USL) from Canada.

A long path was treaded by Computer Assisted Cartography, since the initial support to Traditional Cartography, up to the autonomy of procedures that currently enables the creation of paper charts from documents in digital format that are the construction basis of the S57 Electronic Navigational Charts (ENC).

This paper aims to identify and describe the adopted procedures and evolution, at IHPT, of official nautical charts production (ONC and OENC).

Introdução

A Divisão de Hidrografia, inserida na Direcção Técnica do IH, é responsável pela promoção e realização de estudos, planeamento e execução de trabalhos nos domínios da hidrografia, topografia e geodesia a fim de executar a representação cartográfica do fundo do mar e as relações geográficas dessa representação com a parte emersa da crosta terrestre, nas águas territoriais e Zona Económica Exclusiva (ZEE) portuguesas, bem como noutras áreas de interesse nacional.

As cartas náuticas em suporte de papel representavam, e representam ainda, a mais corrente e segura forma de informação posta à disposição dos navegantes. O carácter oficial que possuem, quando produzidas por entidades governamentais, permite igualmente que sejam encaradas como um recurso legal, capaz de fornecer aos seus utilizadores informação sobre alguma da legislação em vigor na área geográfica representada.

Presentemente, além das CNO em suporte papel o IH produz células CENO, com carácter oficial, que integram o fólio da cobertura cartográfica de interesse nacional e internacional.

O Fólio Cartográfico

Um fólio cartográfico não é mais do que um conjunto de folhas que reflectem a cobertura cartográfica que serve um determinado objectivo.

O fólio cartográfico em vigor até 1994, Fólio Antigo (FA), era constituído por cartas com dimensões diferenciadas e grande variabilidade de escalas.

A OHI recomenda, a todos os países membros, a adopção progressiva do formato A0 (841x1189 mm) como dimensão única para a produção cartográfica impressa em papel.

O antigo sistema de numeração das cartas náuticas, embora decorrente de uma sistematização geo-espacial anteriormente adoptada, carecia de uma completa reformulação por forma a aproximá-lo dos que estavam em uso na comunidade internacional. Dessa reformulação viria a beneficiar directamente o Sistema CAC instalado no IH, já que a nova numeração, constituindo-se como a referência de produto, passaria a codificar as características geográficas e técnicas da própria carta (figura 1).

Assim, a Div. HI reformulou em 1994 o fólio da cobertura nacional, designando-o por F94.

Com esta reformulação pretendeu-se reduzir ao menor número possível a quantidade de cartas, garantindo a total cobertura cartográfica das áreas de responsabilidade de Portugal, a segurança da navegação nessas áreas e a optimização da funcionalidade do objecto «Carta Náutica», assegurar a manutenção e actualização da informação geográfica relevante, sendo que essa mesma informação de base pudesse ser usada na construção de cartas destinadas a fins especiais (apoio à pesca, exercícios militares, náutica de recreio, batimétricas, investigação científica e outros).

Além destes factores, era necessário definir as características geográficas de cada carta, entre elas o seu enquadramento e escala (identificando a série «cartográfica»¹ em que se insere), a projecção cartográfica e o sistema de referência.

Esta reestruturação deu origem a 55 cartas de navegação e 25 temáticas (para fins especiais – Pescas, Recreio e Sedimentológicas), com a distribuição indicada na figura 2.

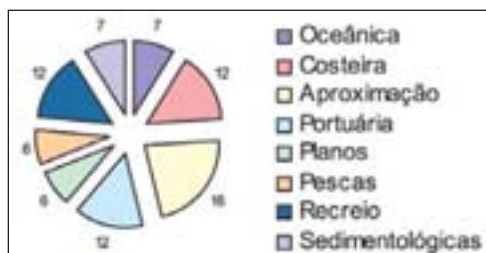


Figura 2 – Número de CNO por Série Cartográfica

O fólio de CENO, estabelecido em 1998, tem uma numeração própria, a qual segue a norma apresentada na Figura 1. O número total de CENO a serem construídas, para completar o seu fólio, é de 99 com a distribuição indicada na figura 3.

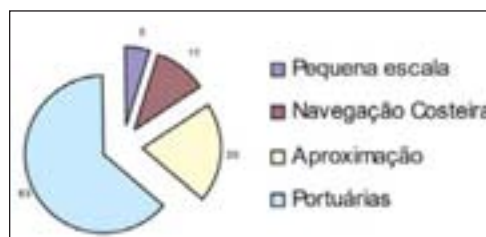


Figura 3 – Número de CENO por série



Figura 1 – Sistema de numeração das CNO e CENO

¹ As séries cartográficas nacionais estão classificadas como Oceânica, Costeira, Aproximação, Portuária, de Planos, Pesca, Recreio e Sedimentológica.

De modo a ser possível uniformizar procedimentos e evitar discrepâncias na selecção e tratamento da informação a figurar em todo o fólio cartográfico e tendo em atenção os objectivos específicos das cartas que integram uma mesma série, foi igualmente definido um conjunto de «Normas Técnicas para a Construção de Cartas Náuticas Oficiais», que englobasse a maior parte das temáticas necessárias à construção de uma carta náutica.

Uma CNO pode ser definida por um mapa desenhado especialmente para satisfazer as necessidades de uma navegação marítima segura. Para servir este objectivo, a projecção cartográfica utilizada para representar a informação georeferenciada é a de Mercator, e os sistemas de referência utilizados são os inscritos na Tabela 1. O modelo terrestre associado aos «Data»² nela mencionados é o elipsóide Internacional (1924).

	CONTINENTE	MADEIRA	AÇORES
DATUM	Lisboa *	Base SE (Madeira, Porto Santo e Desertas)	S. Brás (Grupo Oriental)
	Europeu (ED50)	Selvagens (Ilhas Selvagens)	Base SW (Grupo Central)
			Observatório (Grupo Ocidental)

* Sistema geodésico de referência utilizado nas cartas do fólio antigo.

Tabela 1 – Sistemas geodésico de referência.

Este formato – projecção de Mercator e sistema de referência – aplica-se à produção da «carta digital» com o correspondente *output* gráfico em papel. As CENO não têm projecção cartográfica associada e o sistema de referência adoptado é o WGS84³.

A implementação do sistema

O processo de implementação do sistema de Cartografia Assistida por Computador foi moroso, tendo sido condicionado por vários factores como a instalação do *hardware* e *software*, a formação do pessoal (o período inicial de formação e treino de pessoal teve a duração de 2 anos e foi efectuado pelos formadores da USL), o estabelecimento de critérios para aquisição, edição, arquivo e *output* de informação e sua organização, bem como para o controlo da qualidade dos produtos.

O sistema foi implementado em rede, inicialmente ligando estações gráficas HP9000-série 700 em ambiente HP-UX às quais se associaram

² Neste contexto «Data» é o plural de Datum.

³ «World Geodetic System (1984)» (sistema geodésico de referência mundial) é um Datum global que utiliza para modelo terrestre um elipsóide de revolução posicionado de tal modo que o seu centro geométrico coincide com o Centro de Massa da Terra determinado em 1984.

posteriormente, computadores pessoais (PC) em ambiente Windows NT4.0. Actualmente, as estações gráficas são PC em ambiente Windows XP e 2000, à excepção das estações dedicadas à correcção de cartas. A configuração actual do sistema encontra-se esquematizada na figura 4.

O *software CARIS* é modular, oferecendo funcionalidades de Cartographic Mapping, Modelação 3D, captura semi-automática de dados, SIG, processamento de hidrografia, importação de dados tanto em formato ASCII como nos formatos standard de dados gráficos (AutoCAD-DXF, ArcGIS-Shapefile, Intergraph-SIF, etc.).

No período de instalação do *software CARIS* foi necessário garantir, entre outros, os seguintes aspectos:

- o cumprimento dos níveis de exactidão exigidos em produção cartográfica;
- o cumprimento das normas e especificações para a representação gráfica de objectos, estabelecidas pela OHI e reflectidas na carta INT1⁴ do IH;
- a georeferenciação usando modelos terrestres e projecções cartográficas recomendadas internacionalmente e em uso nacional, bem como a capacidade de transformação entre eles;
- a capacidade de importação de dados dos levantamentos hidrográficos efectuados pelo IH;
- a possibilidade de implementar regras de organização da informação, de modo a facilitar a visualização e processamento de sub-conjuntos de informação de acordo com critérios estabelecidos pelo utilizador, bem como a criação de camadas temáticas de dados.

A estrutura e organização dos dados

Os dados (pontos, linhas e polígonos), elementos fundamentais de um Sistema CAC vectorial, têm no

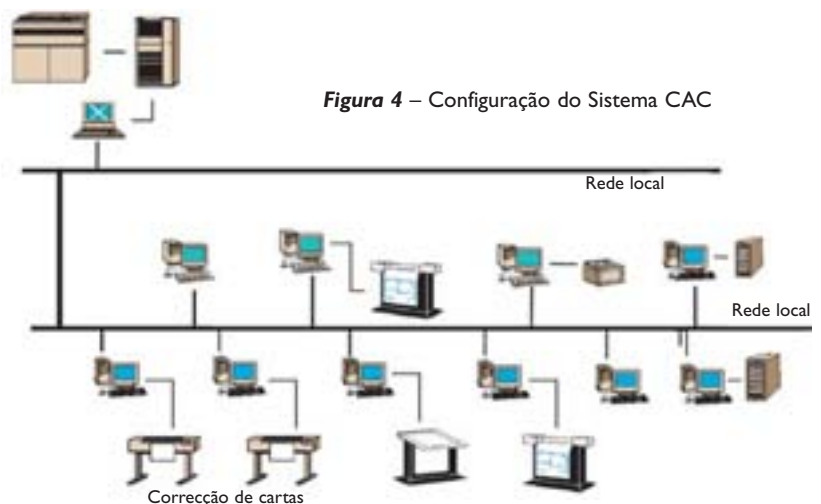


Figura 4 – Configuração do Sistema CAC

⁴ A carta INT1-10Z01 publicada pelo IH contém a descrição e significado de todos os símbolos e Abreviaturas das Cartas Náuticas Portuguesas.

CARIS uma estrutura base associada (componente gráfica e componente alfanumérica). Esta estrutura, permite ao operador efectuar tarefas tão diversas como georeferenciar, classificar, inquirir, escolher, editar e processar diferenciadamente.

Baseada na experiência da Cartografia Tradicional, foi identificada a necessidade de, em relação a cada dado, ser pelo menos possível:

- atribuir e conhecer a sua posição;
- representá-lo gráficamente de acordo com as normas;
- identificar a sua fonte de informação;
- diferenciá-lo por classes de informação.

Além de georeferenciados (x,y,z/φ,λ,h), os dados têm que ser classificados através da atribuição de um código que reflecta a sua realidade (por exemplo, à «linha de costa em geral» é atribuído um código diferente do atribuído a «linha de costa arenosa»). Este parâmetro, designado por «*Feature Code*» consta numa «*livraria de símbolos*» (construída na Div HI) que permite uma representação gráfica padronizada de acordo com o INT1.

Para identificar a fonte de informação recorreu-se ao parâmetro «*Source ID*», tendo sido necessário criar um código baseado numa regra de 12 caracteres que abrangesse a totalidade das fontes utilizadas.

Para organizar os dados recorreu-se ao parâmetro «*User Number (UN)*» para criar classes de objectos

baseadas na disposição esquemática do INT1, conforme exemplo na figura 5.

Este tipo de organização permite gerir e criar, com alguma facilidade, conjuntos temáticos de dados (figura 6).

Métodos de produção cartográfica

Tradicionalmente, e tendo por produto final a impressão em papel, a construção de uma CNO assenta em processos manuais de compilação e selecção de dados, desenho e separação de cores (matrizes de impressão), Figura 6. Na prática, a construção de uma CNO tem por finalidade a obtenção final de tantas películas indeformáveis contendo linhas, símbolos, texto ou áreas, quantas as cores que figuram na carta impressa. Estas películas, denominadas matrizes de impressão, vão dar origem às cores que figuram nas CNO, após a sua passagem, por processos fotográficos, para as chapas de zinco que permitirão a impressão offset nas folhas de papel.

Com o sistema de Cartografia Assistida por Computador, alguns dos processos manuais foram automatizados, cumprindo-se, de um modo geral, o circuito de construção esquematizado na figura 7.

Em 1995, findo o período de formação e instalação, o sistema CAC foi considerado operacional para iniciar a produção cartográfica.

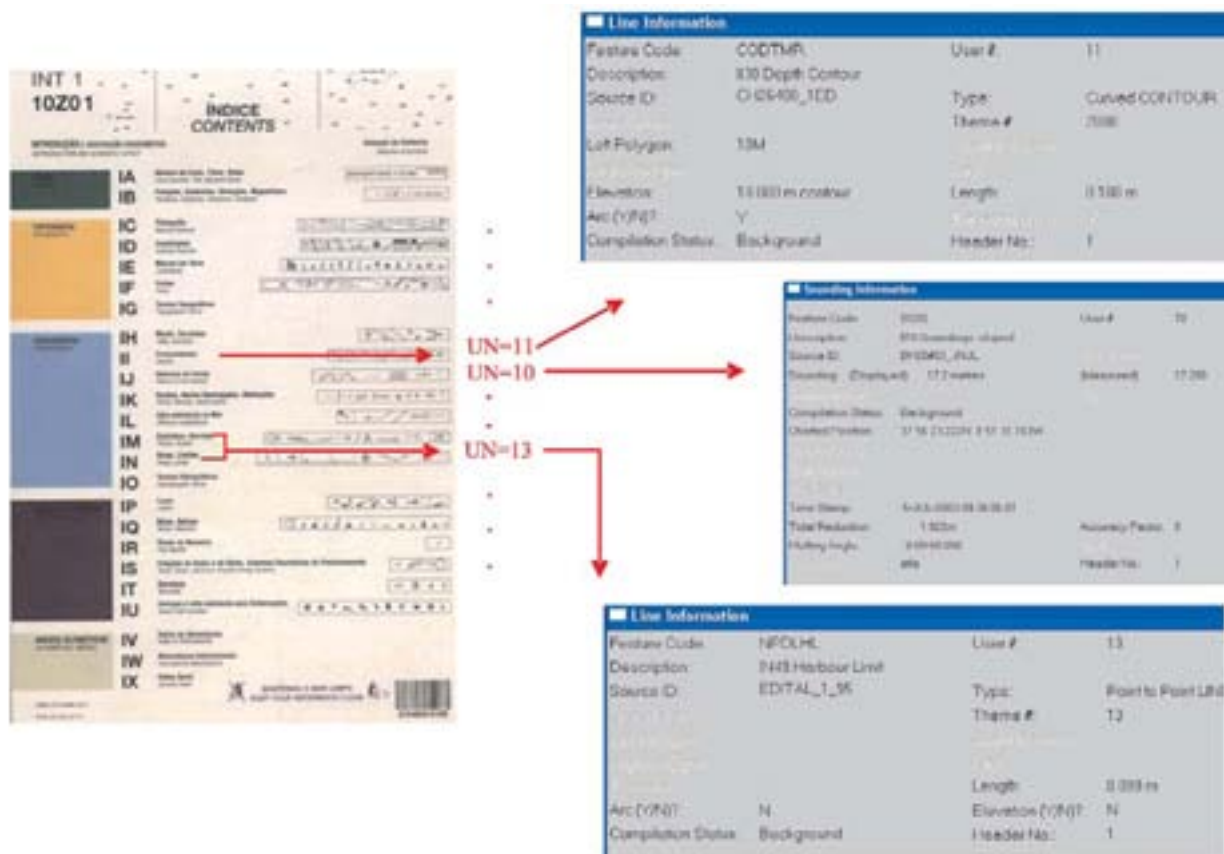


Figura 5 – Exemplo da organização dos dados por UN

No entanto, para construir a «carta digital», e especificamente no que à hidrografia diz respeito, são necessários dados em suporte digital que «alimentem» o sistema, elementos estes que o IH não possuía à excepção dos levantamentos hidrográficos posteriores a 1987 e alguns do período 1981-1987. Por outro lado, a reestruturação do fólio cartográfico nacional, obrigava a que se produzissem *Cartas Novas*⁵. Para tal, foi necessário dar início a uma fase de aquisição de dados cartográficos, tendo por base a informação representada nas CNO do antigo fólio, que passou pela conversão das «cartas

antigas» para suporte digital, através da sua vectorização e posterior georeferenciação, procedimento esquematizado na figura 8.

O plano de produção das CNO foi estabelecido com o objectivo de satisfazer, o mais rapidamente possível, as necessidades da navegação marítima em toda a extensão da costa portuguesa. Como ponto de partida, foi dada prioridade à construção das CNO da série portuária.

Até ao ano de 1998, a produção de *Cartas Novas* e *Novas Edições* do fólio F94, era exclusivamente assegurada pelos processos da Cartografia Tradicional. No

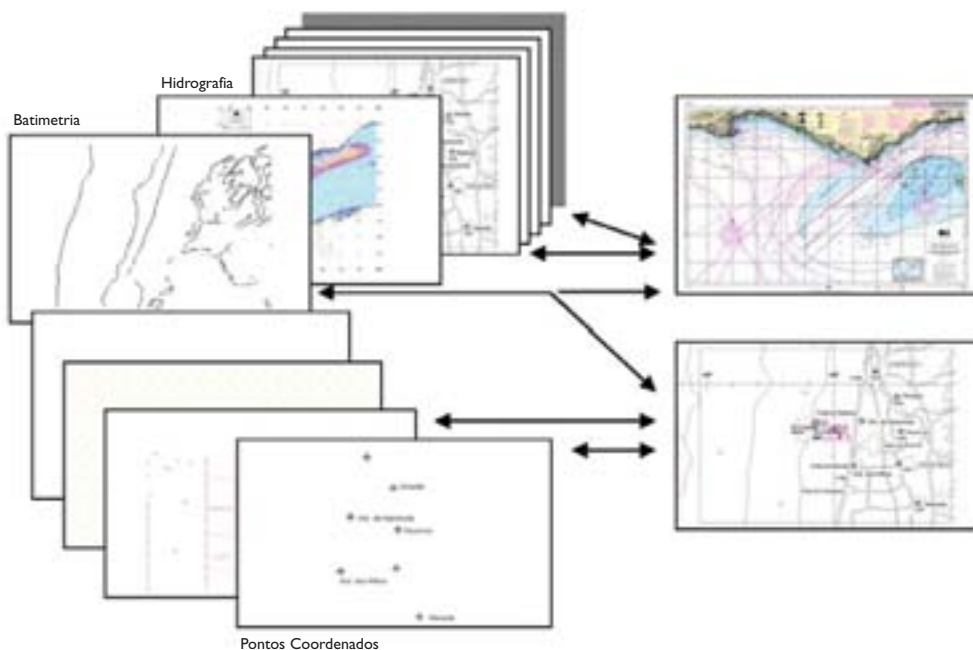


Figura 6 – Conjuntos temáticos de dados



Figura 7 – Construção de uma CNO

⁵ Quanto ao tipo de emissão, as cartas náuticas designam-se por «cartas novas», «novas edições» e reimpressões.

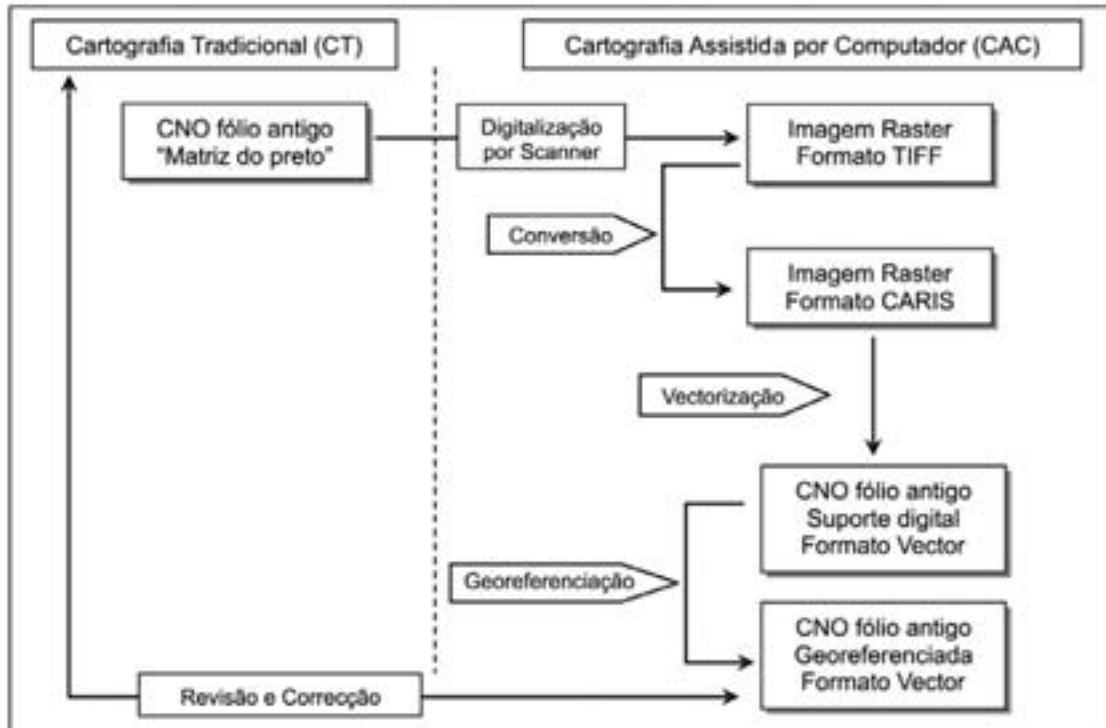


Figura 8 – Fluxograma da conversão de cartas em suporte papel para suporte digital

entanto, neste período, o apoio à CT passou a ser já uma realidade, através da construção e posterior edição, em película indeformável, das quadrículas principal e secundárias e da implantação de pontos coordenados das CNO, assim como o fornecimento de batimetria e selecção de sondagem processada pelo sistema. Naquela data, a informação hidrográfica existia sob a forma de pranchetas ou ficheiros de sondagem, pelo que foi necessário importar aqueles dados para CARIS de modo a ser possível, numa primeira fase, avaliar e validar as capacidades do sistema no que dizia respeito à modelação 3D (criação de Modelos Digitais de Terreno – MDT), construção de isolinhas e selecção de sondagem.

Estes processos não são automáticos e exigem da parte do compilador o conhecimento, a atenção e a sensibilidade necessárias para impôr os critérios de generalização mais

adequados, tanto na modelação do terreno como na selecção das sondas, de modo a obter uma malhagem de sondas mínimas que seja representativa do fundo e verifique igualmente o primado da segurança da navegação.

Em 1998 imprimiam-se as primeiras CNO produzidas pela CAC. Na sua construção foi usada a produção tradicional de Cartas Novas do F94, convertida para suporte digital, à qual foi associada a nova informação hidrográfica e topográfica entretanto obtida.

Hoje, a construção de Novas Edições e Cartas Novas pelo CAC, assenta na integração de vários tipos de dados, georeferenciados a sistemas de projecção distintos, provenientes de fontes e formatos diferenciados. A informação existente em suporte digital formato vector, pode ser usada para diversos fins, sendo objectos principais em termos de produto final, a CNO impressa em papel, a CNO em suporte digital formato vector e a CENO (CNO em suporte digital, formato S-57), (figura 9).

As potencialidades da CAC foram igualmente aplicadas à Correção de Cartas, que gere a inserção dos Avisos aos Navegantes nas CNO por eles afectadas, através do desenvolvimento de um «programa» pioneiro que permite automatizar procedimentos que anteriormente eram exclusivamente manuais.

Para evitar lacunas na actualização das CNO e proceder à listagem de todos os avisos que afectam uma determinada carta, foi igualmente construída uma Base de Dados de Gestão de Cartas e Avisos.

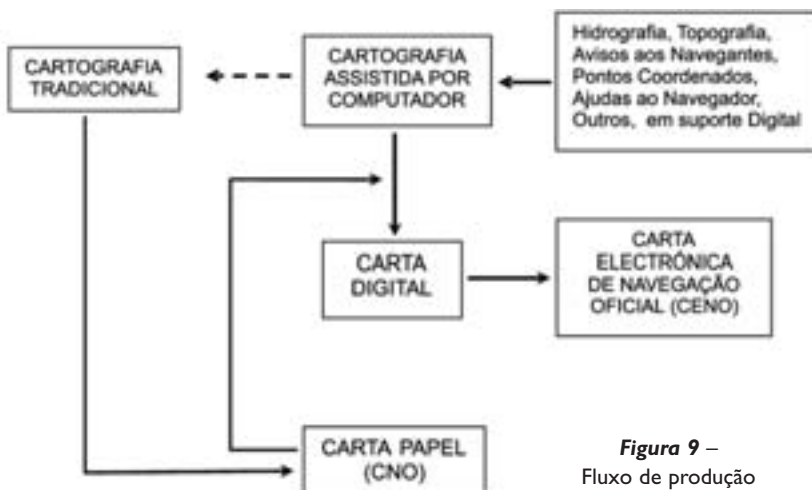


Figura 9 – Fluxo de produção

Desde a aquisição do sistema CAC até à presente data, a construção das CNO tem vindo a ser efectuada em simultâneo com a Cartografia Tradicional. No entanto, com o crescimento da produção através da CAC, assiste-se progressiva e inevitavelmente ao abandono dos métodos tradicionais de produção, (figura 10).

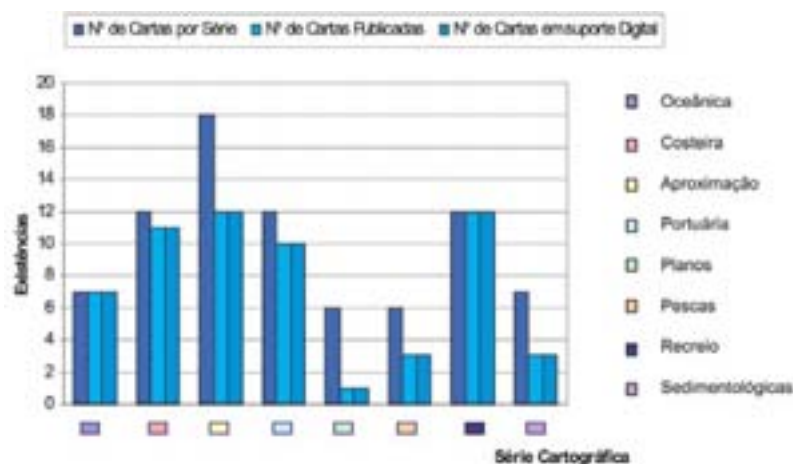


Figura 10 – Situação actual da produção cartográfica

O processo de construção de uma CNO é uma actividade dinâmica, que obriga o seu compilador a rever constantemente procedimentos e decisões até poder dar o trabalho por concluído. O volume e a variedade de informação envolvida requer que, ao longo de todo o processo e principalmente na sua fase de conclusão, tenha lugar um sistemático controlo de qualidade.

O controlo de qualidade de uma CNO

Antes de adquirirem o estatuto de produto final, as CNO passam por um rigoroso controlo de qualidade. Este é realizado por elementos da CAC, da Cartografia Tradicional, da Divisão de Navegação e, sempre que possível, pelas Autoridades Portuárias da área coberta pela carta.

Um dos seus objectivos é verificar a correcta representação gráfica de toda a informação que consta na carta, de acordo com o definido nas cartas INT1, INT2⁶, INT3⁷, e nas publicações «Lista de Luzes, Bóias, Balizas e Sinais de Nevoeiro», «Lista de Radioajudas», «Tabela de Marés», Roteiros e legislação em vigor. Outro será o de apurar se todos os objectos que constituem perigos e ajudas à navegação figuram na carta, bem como se todos os Avisos aos Navegantes que a afectam foram tidos em consideração. Ao logo do processo de construção é ainda

⁶ INT2 – Especificações da OHI para a construção de quadrículas.

⁷ INT3 – Carta exemplificativa das especificações da OHI para o uso de símbolos e abreviaturas.

apurado se os levantamentos hidrográficos considerados na sua construção são os mais recentes e adequados.

Todos os factos recolhidos são descritos em impressos próprios que são posteriormente anexas ao processo de compilação da carta, após o que este é dado por concluído e arquivado.

O conceito de CENO S-57/3

Uma CENO, mais do que uma carta, é uma base de dados de objectos cartográficos e respectivos atributos, a partir da qual a informação pode ser visualizada num formato de carta náutica desde que se utilize *software* adequado.

A CENO é produzida no formato S-57/3⁸. Esta especificação foi inicialmente aprovada em 1987, na versão provisória do que viria a ser a publicação S-57, data a partir da qual se tornou evidente a necessidade de um *ENC Product Specification*⁹, e surge como consequência da evolução dos documentos da OHI que tinham por finalidade a elaboração

de normas que viabilizassem não só a produção de uma CENO, mas também que facilitassem a troca de informação entre produtores oficiais (Institutos Hidrográficos), utilizadores (navegadores) e outras entidades.

O aparecimento e evolução de sistemas de visualização das CENO, denominados *Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)*¹⁰ com funcionalidades SIG, bem como a evolução e desenvolvimento dos produtos finais e dos *softwares* de produção e controlo de qualidade têm sido um importante meio de pressão para a evolução do S-57.

Hoje, a caminho da sua quarta edição e no sentido de incluir as potencialidades dos *Geospatial Data Standards* produzidos pela *International Standards Organization (ISO)*, tornou-se possível que os dados possam ser lidos e manipulados por programas do tipo *Commercial Off The Shelf (COTS)*¹¹ sem ser necessário desenvolver programas específicos para este formato.

⁸ Special Publication 57, Edition 3, «IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data».

⁹ O *ENC Product Specification* é um dos anexos que compõem a publicação S-57 e que contem todo o dicionário de objectos e atributos.

¹⁰ O *ECDIS* é um sistema de navegação que integra informação de um sistema de posicionamento (GPS ou DGPS) mostrando a posição do navio em tempo real e permitindo também efectuar uma escolha selectiva da informação que se quer visualizar.

¹¹ *COTS* são programas de utilização geral e acessíveis a qualquer utilizador.

A produção de CENO no IH

A maior preocupação a nível mundial relativamente à produção de CENO foi garantir, de uma forma consistente e célere, um excelente grau de cobertura das áreas de interesse nacional e internacional.

Para cumprir este objectivo, os vários serviços hidrográficos sentiram necessidade de adoptar os fólhos cartográficos já estabelecidos para as suas CNO, compilar essa mesma informação e reproduzi-la no formato S-57.

O IH, que desde cedo acompanhou o processo decorrente da constituição das normas S-57, sentiu necessidade de adquirir «ferramentas» que permitessem, por um lado trabalhar com a CNO em suporte digital e por outro criar, de forma autónoma, os seus próprios ficheiros. Para tal, adoptou o *CARIS Hydrographic Object Manager* (HOM) da Universal Systems – Canadá e o *ENCDesigner* da SevenCs – Alemanha, para a construção das suas CENO, tendo iniciado a sua produção em 1998.

O plano estratégico de produção das CENO foi estabelecido com o objectivo de satisfazer, o mais rapidamente possível, as necessidades mais importantes da navegação marítima em toda a extensão da costa portuguesa, tendo em linha de conta o tráfego de navios de mercadorias e de passageiros que passam ao largo da nossa costa e asseguram o transporte marítimo essencial à economia portuguesa e europeia. Desta forma, foi dada prioridade à construção de CENO para navegação costeira. Após a sua conclusão, procedeu-se à cobertura de CENO portuárias dos principais portos nacionais – Lisboa, Leixões, Setúbal e Sines. Seguidamente, atendendo à importância do transporte marítimo para os Arquipélagos da Madeira e dos Açores, assim como à extensão da Zona Económica Exclusiva (ZEE) portuguesa, foi iniciada a produção de CENO dessas áreas.

Em termos técnicos, o produto CENO deve ser construído no Datum WGS84 com o sistema de coordenadas expresso em latitude e longitude, a informação deve ser filtrada por forma a que a distância entre pontos não exceda 0,3mm e seja distribuída por camadas (uma delas obrigatória, constituída por objectos do tipo área, denominada «*skin of the earth*»)¹², para obedecer aos requisitos especificados no *ENC Product Specification*.

O controlo de qualidade de uma CENO

O controlo de qualidade das CENO requer não só a verificação da correcta representação gráfica de todos os objectos, de acordo com o definido no dicionário de objec-

¹² Estão definidos dois grupos de objectos nas CENO: o grupo 1, ou *skin of the earth* e o grupo 2, do qual fazem parte todos os objectos que não integram o grupo 1.

tos S-57, mas também a integridade dos dados de acordo com a publicação S-58¹³.

O IH definiu que o Controlo de Qualidade das suas CENO deve ser feito com recurso aos «programas» incluídos nos *softwares* utilizados para a produção das CENO bem como por um outro independente daqueles. Na fase final deste processo, deve ainda ser feita uma auditoria interna e outra externa ao sector de produção.

Numa primeira fase são utilizados os programas *CARIS HOM* da USL para verificar incoerências nos dados (por exemplo: isenção de informação, isobatimétricas em terra, inconsistência na codificação dos objectos, entre outros) e o *ENCAnalyzer* da SevenCs, que corre sobre o ficheiro S-57 ou equivalente, que verifica os atributos e respectivos valores de cada objecto, se a metainformação está de acordo com o definido nas normas S-57, se existem relações espaciais proibidas entre determinados objectos, se estes estão correctamente colocados de acordo com o seu grupo e se as relações espaciais e topológicas estão optimizadas de modo a funcionarem correctamente no sistema ECDIS de acordo com o estabelecido nas normas S-57. Ainda para esta primeira fase, a escolha do *software* independente da produção recaiu sobre o *dKart Inspector* da *Hidro-Service AS*, que corre sobre o ficheiro S-57 e permite verificar a geometria dos objectos espaciais, a redundância espacial, a existência de objectos não codificados, a codificação dos objectos e respectivos atributos, a correcta codificação das relações do tipo *master-slave*¹⁴ e *peer-peer*¹⁵, as regras de codificação de atributos dos objectos, a coerência das áreas que definem as profundidades em função das isobatimétricas e das *sondas* e se a CENO está toda coberta por objectos do *grupo 1* sem lacunas ou sobreposição de informação.

Numa segunda fase – Auditoria Interna – as CENO são verificadas no ambiente em que vão ser utilizadas, o sistema ECDIS. Para tal, são utilizados dois *softwares* certificados de sistema ECDIS, o *Navi Sailor 2400 ECDIS* da TRANSAS e o *ECPINS-M* da *Offshore Systems*. Estes correm sobre o ficheiro S-57, interpretam-o, e convertem-o no formato SENC (System Electronic Navigational Charts).

O SENC, equivalente à CNO actualizada em suporte papel representa a base de dados utilizada pelo sistema

¹³ Special Publication 58, Edition 2, «Recommended ENC Validation Checks».

¹⁴ Relações hierárquicas previstas nas normas S57. Para o mesmo objecto espacial, uma *feature* como *master* e as restantes como *slaves* (por ex: um objecto do tipo bóia é considerado *master*; a sua luz, alvo e reflector serão considerados *slave*).

¹⁵ Associações ou agregações de objectos que, pela sua natureza e importância, se podem combinar e que podem ou não estar dependentes uns dos outros para existirem (por ex: uma bóia a marcar um *wreck* é composta por dois objectos que formam uma associação, já que sem *wreck* não haveria razão para existir a bóia).

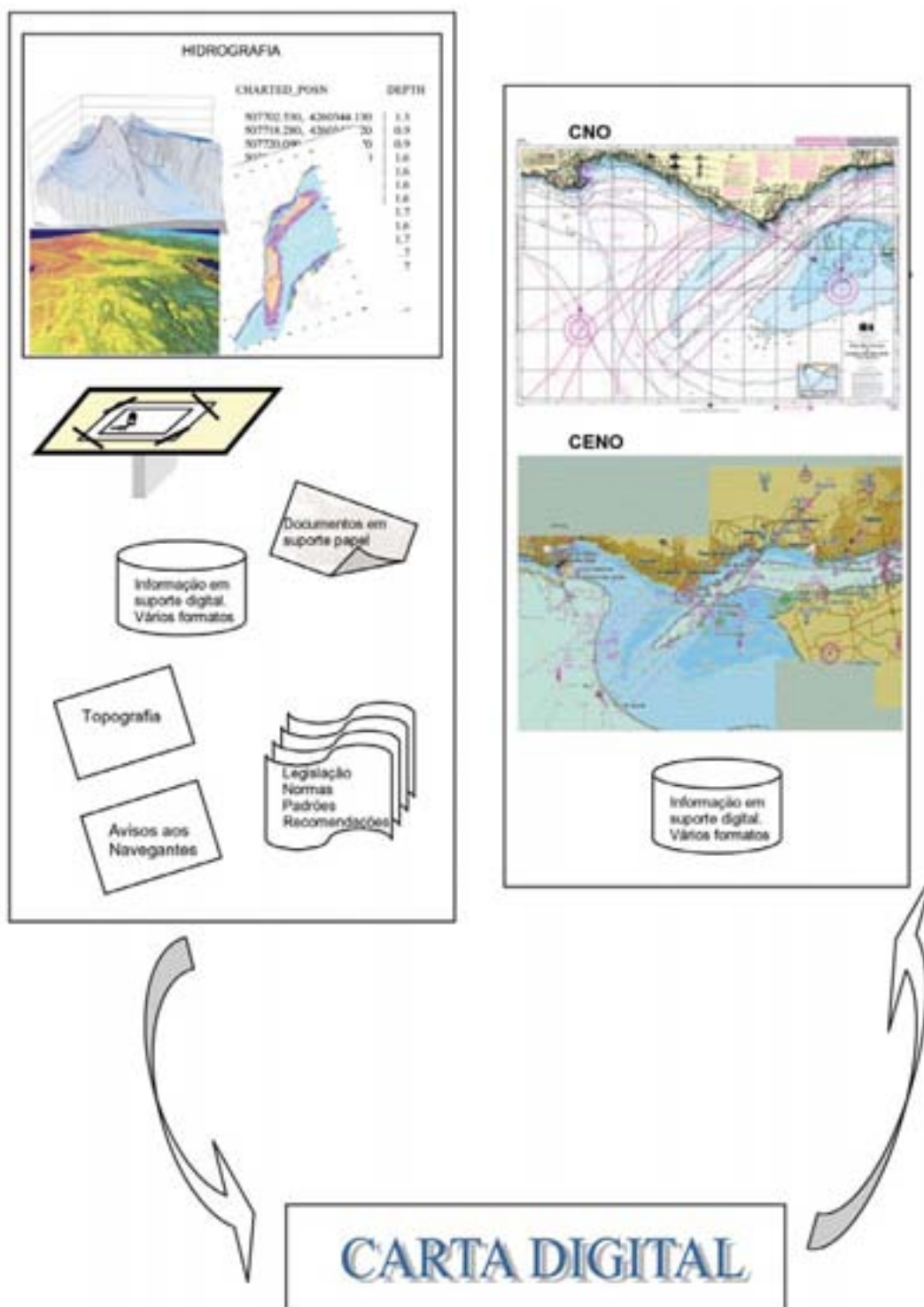


Figura 11 – Fluxo produção CNO e CENO

ECDIS. Pode incorporar informação proveniente de outras fontes e, ao ser visualizado no monitor do sistema, possibilita a verificação manual dos seus objectos e atributos.

Nesta fase, interessa que as CENO sejam verificadas por uma entidade externa ao sector de produção – Auditoria Externa. Esta tarefa cabe à Divisão de Navegação, nomeadamente no que diz respeito à informação que mais interessa à segurança da navegação.

A impressão a pedido

O caminho percorrido pela CAC não tem descurado as novas solicitações do mercado de produção cartográfica no que respeita à impressão em suporte papel.

A «Impressão a Pedido» – *Print On Demand (POD)* –, é a designação usualmente utilizada para identificar o uso de sistemas de impressão de grande formato, a cores, para a obtenção de cartas náuticas no momento em que

elas são solicitadas. Estando já disponíveis no mercado informático, estes sistemas possibilitam a obtenção de cartas resistentes à água e ao uso do lápis, condições essenciais para a sua utilização em cartografia náutica.

Este tipo de impressão apresenta algumas vantagens quando comparada com a impressão *offset*. Permite reduzir ou eliminar os custos do inventário e armazenamento de cartas náuticas, bem como o desperdício provocado pela destruição de cartas obsoletas, existente em depósito, quando uma Nova Edição é publicada. Por assegurar que as cópias estão sempre disponíveis para impressão, evita ainda a necessidade de reimpressão de uma carta quando o inventário está vazio e uma nova edição está eminente. Constitui ainda uma vantagem acrescida a possibilidade de utilizar uma maior variedade de tipos de papel na impressão das cartas náuticas, de acordo com o destino que o seu utilizador lhes quiser dar.

O uso do *Print On Demand* está especialmente adequado à tiragem de pequenas quantidades de cartas. Com a necessária atenção ao controlo de qualidade nos locais de impressão remota, é possível libertar as entidades produtoras da impressão das CNO, deixando aos revendedores essa tarefa.

A um nível mais avançado, o simples processo de imprimir as cartas digitais existentes, pode ser aumentado com infra-estruturas computacionais adicionais. A adição da capacidade «impressão remota» pode trazer benefícios adicionais aos navegadores ao permitir a impressão de cartas directamente nos postos de venda. Deste modo, será possível obter, no acto da sua aquisição, cartas totalmente corrigidas por profissionais dos Institutos Hidrográficos, bem como cartas adaptadas a diferentes segmentos de mercado, tais como navegação comercial, navegação de recreio e outros. Será ainda possível providenciar um serviço de subscrição para a actualização de cartas, que reenvie uma carta actualizada sempre esta seja afectada por um Aviso aos Navegantes.

Podemos ver o POD como um método eficaz e alternativo aos tradicionais métodos de impressão e armazenamento de cartas.

Os novos métodos de produção

Até à presente data, muito tempo foi dispendido em formação, captura de dados, definição e implementação de procedimentos, criação de rotinas de software específicos e livrarias de símbolos entre outros, pelo que, só recentemente começaram a aparecer os benefícios de sistema.

Nos últimos anos têm sido dados passos importantes no sentido de conseguir um ambiente totalmente digital para as CNO do IH, bem como para os levantamentos hidrográficos que são a principal fonte de informação de uma carta náutica.

O aumento de dados no sistema assim como a importância e crescente uso das CENO, coloca um desafio adicional no conceito de arquivo e produção de informação.

O IH possui, neste momento, diferentes fluxos de trabalho para a produção e manutenção das CNO em suporte de papel e das CENO. Estes fluxos de produção cartográfica estão baseados numa implementação *File-based*¹⁶, o que torna difícil controlar a actualização (*update*) de dados geográficos em todos os ficheiros que se encontram disseminados por vários discos em toda a organização.

A abordagem mais lógica seria, sem dúvida, carregar numa única fonte os melhores dados espaciais existentes. A solução, foi a aquisição do software CARIS Hydrographic Production Database (CARIS HPD), a implementar num futuro próximo. O CARIS HPD efectuará a gestão de todos os dados cartográficos do IH, numa base de dados contínua, sem fronteiras, proporcionando a manutenção apenas dos dados fonte, para derivar e manter múltiplos tipos de produtos incluindo CENO, CNO, e AN.

Com o Sistema de Gestão de Base de Dados *Oracle 9i Spatial*, o HPD pode combinar, numa única solução, uma base de dados fonte – *Source Database (SD)* – e uma base de dados de produção – *Product Database (PD)*. A SD providencia continuidade, arquivo e manutenção, não redundantes, dos dados espaciais e não espaciais usados para a criação de todos os produtos hidrográficos. A PD providencia o armazenamento e manutenção das definições dos produtos criados, incluindo a cobertura geográfica as representações cartográficas específicas do produto (por ex: rosa-dos-ventos, notas, tabela de marés), assim como todas as suas versões históricas.

Usar o mesmo modelo de dados na SD e na PD, significa que as alterações na SD podem ser cruzadas/referenciadas em todos os produtos que usam essa informação. Deste modo, quando um produto é criado, ele não perde a ligação com a SD. Por outro lado, cada vez que um produto é aberto para utilização, a base de dados é inquirida sobre possíveis alterações aos dados constantes nesse produto. Caso existam alterações, esse produto pode então, após a confirmação e aprovação do utilizador, ser actualizado directamente da SD.

Esta solução permite ainda o acesso multi-utilizador e representações múltiplas de um mesmo objecto, ou seja, generalizações desse objecto em função da escala do(s) produto(s) a que se destina. Quando estiver completamente implementada, esta solução irá permitir ao IH manter os padrões de qualidade dos seus produtos, com maior eficiência.

¹⁶ O arquivo e manipulação de dados e produtos é feita utilizando ficheiros, guardados segundo determinados critérios, nos Servidores do IH.

Referências Bibliográficas

1. *Chart Specification of the IHO and regulations of the IHO for International (INT) Charts - M-4*, International Hydrographic Bureau, Monaco, Edition 1988.
2. *CARIS Cartographic User's Guide*, Universal Systems Limited 2002.
3. *CARIS GIS User's Guide*, Universal Systems Limited 2002.
4. *IHO Transfer Standards for Digital Hydrographic Data, Edition 3.1*. International Hydrographic Bureau, Monaco, November 2000.
5. *Recommended ENC Validation Checks, Edition 2.0*, International Hydrographic Bureau, Monaco, October 2003.
6. *ENCAnalyser User's Guide*. HSA Systems Pty Lda, Sydney, Australia e SevenCs,AG & Co. KG, Hamburg, Germany, May 2004.
7. *ENCDesigner User's Guide*. SevenCs,AG & Co. KG, Hamburg, Germany, April 2004.
8. *Hydrographic Object Manager Reference Guide*, Universal Systems Limited, Fredericton, New Brunswick, Canada, 2004.
9. *Open ECDIS Forum* (<http://www.openecdis.org>).
10. PERUGINI, N. *Behind the Accuracy of Electronic Charts, Sea Technology*, pp33-37, March 2001.
11. HECHT, H., BERKING, B., BUTTGEBACH, G., JONAS, M., ALEXANDER, L. (2002). *The Electronic Chart*, December 2002.
12. MONTEIRO, N, PINHEIRO, A., *CENO – Sua produção e utilização no século XXI*, ESIG 2002, November.

Determinação do vector velocidade a partir de observações Doppler GPS

João Paulo Ramalho Marreiros, CAPITÃO-TENENTE, EH
João Vitorino, TÉCNICO SUPERIOR PRINCIPAL, OCEANÓGRAFO
Luís Quaresma dos Santos, SUBTENENTE, GEÓGRAFO

Resumo Este artigo descreve um método de determinação instantânea do vector velocidade a partir de observações Doppler do sinal transmitido por satélites GPS para uma antena em modo de posicionamento absoluto. Como demonstração da metodologia adoptada e análise de exactidão foi efectuado o processamento de dados gravados com uma antena estacionária, cuja velocidade topocêntrica é igual a zero. A amostra consistiu em seis horas de dados gravados de segundo a segundo. Para a velocidade horizontal foi calculado o valor de 0.01 m/s, enquanto que para a velocidade vertical foi calculado o valor de 0.03 m/s.

Os valores de exactidão da amostra são mesmo melhores que os divulgados por fabricantes de sensores de atitude GPS/INS. Os dados adquiridos permitiram demonstrar a dependência do valor de exactidão relativamente ao factor DOP (Dilution Of Precision) associado configuração geométrica dos satélites visíveis. O factor DOP explica também a menor exactidão da componente vertical da velocidade.

Como aplicação desta metodologia foram efectuados ensaios de antena em movimento instalada numa bóia oceanográfica. Os dados obtidos permitiram concluir acerca da aplicabilidade deste método no domínio da oceanografia.

Abstract *This article describes a method of instant determination of the velocity vector from Doppler observations, using the signal transmitted by GPS satellite. To demonstrate this methodology and his accuracy it was used an antenna with topocentric speed zero.*

As an application of this methodology, several tests where done with an antenna installed in an oceanographic buoy. The data obtained proved the applicability of this technique in the oceanography domain.

1. Introdução

O GPS é tradicionalmente conhecido pela sua aplicação em posicionamento absoluto ou em posicionamento relativo, designadamente em modo diferencial (DGPS). Neste âmbito existem já metodologias bem conhecidas, e com produtos comerciais amplamente divulgados. Menos divulgada e implementada tem sido a aplicação do GPS na determinação instantânea do vector velocidade com um único receptor. O termo velocidade instantânea significa que o vector velocidade é determinado a partir de observações GPS referidas a um único instante.

O desvio Doppler do sinal transmitido pelos satélites está relacionado com a variação da distância do receptor ao satélite. Um receptor que se aproxime do satélite irá observar um ligeiro incremento na frequência, enquanto que um receptor que se afasta observa uma ligeira diminuição da frequência.

Antes do aparecimento do GPS, o sistema TRANSIT fornecia informação de posição horizontal a partir do desvio Doppler do sinal transmitido pelos satélites. O TRANSIT foi um dos predecessores do GPS, tendo permanecido operacional ao longo de um período interrupto de 33 anos, até 1996, durante os quais foi extensivamente utilizado pela navegação marítima. Para mais informação sobre o TRANSIT recomenda-se a leitura de bibliografia especializada [PARKINSON, 1995] [LAURILLA, 1976].

Os princípios aplicados na determinação da posição com o TRANSIT podem também ser usados com o GPS. A utilização de observações Doppler a partir do sinal transmitido por satélites GPS para determinar a posição não é usada devido a apresentar desvantagens relativamente á solução tradicional que usa observações de pseudo-distância. Entre as principais desvantagens salienta-se a menor exactidão e maior dependência da geometria dos satélites [HILL, 2001].

Enquanto que a posição absoluta é determinada por observações de pseudo-distância, a determinação instantânea do vector velocidade pode ser efectuada a partir de observações Doppler. Neste artigo é descrito o modelo matemático, e os resultados obtidos a partir de dados experimentais.

2. Modelo matemático

Quando um objecto em movimento transmite um sinal electromagnético a uma frequência constante, f_T , um observador recebe uma frequência, f_R , que varia em função da velocidade do transmissor relativamente ao receptor. Esta relação pode ser expressa na forma matemática a partir da *equação doppler* simplificada [Leick, 1995]:

$$\Delta f = f_T - f_R = \frac{f_T}{c} \cdot \dot{\rho} \quad (1)$$

Onde c é a velocidade de propagação das ondas electromagnéticas no vácuo e $\dot{\rho}$ é o valor da velocidade do transmissor relativamente ao receptor. O termo $\Delta f = f_T - f_R$ é designado por *desvio doppler* (do inglês, doppler shift), observado pelo receptor.

O valor da velocidade de afastamento do transmissor relativamente ao receptor, $\dot{\rho}$, é dado pela projecção da diferença da velocidade absoluta entre o satélite e do receptor ao longo do vector unitário da direcção entre o receptor e o satélite:

$$\dot{\rho} = (\vec{v}_s - \vec{v}_r) \cdot \vec{e}_n$$

Onde \vec{v}_s é a velocidade absoluta do satélite, \vec{v}_r é a velocidade absoluta do receptor e \vec{e}_n é o vector unitário da direcção entre o receptor e o satélite. O vector unitário é dado pela seguinte expressão:

$$\vec{e}_n = \frac{\vec{p}_s - \vec{p}_r}{|\vec{p}_s - \vec{p}_r|}$$

Onde \vec{p}_s é a posição absoluta do satélite, \vec{p}_r é a posição absoluta do receptor.

Após estas considerações a equação de observação, baseada na *equação doppler*, é a seguinte:

$$\frac{\Delta f}{f_T} \cdot c = (\vec{v}_s - \vec{v}_r) \cdot \vec{e}_n = (\vec{v}_s - \vec{v}_r) \cdot \frac{\vec{p}_s - \vec{p}_r}{|\vec{p}_s - \vec{p}_r|} \quad (2)$$

Tomando como valor da velocidade da luz $2.99792458 \cdot 10^8$ m/s e a frequência da portadora L1 do sinal GPS 1575.42 MHz, a equação (2) permite deduzir que uma velocidade de aproximação de 1 m/s induz um desvio doppler igual a 5.255 Hz. Saliente-se que a equação (2) permite concluir acerca da possibilidade de determinar a velocidade absoluta do receptor a partir de observações do desvio doppler, desde que se conheça os vectores posição absoluta do receptor, posição absoluta do satélite e velocidade absoluta do satélite.

3. Determinação da solução

A aplicação da equação (2) ao desvio doppler de satélites GPS requer mais algum desenvolvimento para que se determine a solução, ou seja, a velocidade absoluta do receptor. Há a considerar o facto de o relógio do receptor ter uma componente de erro que deve ser considerada na determinação da velocidade. Se para a determinação da posição se considera como incógnita o erro do relógio do receptor, para a determinação da velocidade deve-se considerar a variação no tempo do erro do relógio do receptor. Esta parcela entra como uma correcção a efectuar à observação do desvio doppler:

$$(\vec{v}_s - \vec{v}_r) \cdot \frac{\vec{p}_s - \vec{p}_r}{|\vec{p}_s - \vec{p}_r|} + \dot{dt} \cdot c = \frac{\Delta f}{f_T} \cdot c \quad (3)$$

A variável dt representa a variação no tempo do erro do relógio do receptor, a quarta que se determina em conjunto com as três componentes do vector velocidade absoluta do receptor. Separando as incógnitas das restantes variáveis:

$$\vec{v}_r \cdot \frac{\vec{p}_s - \vec{p}_r}{|\vec{p}_s - \vec{p}_r|} - \dot{dt} \cdot c = \vec{v}_s \cdot \frac{\vec{p}_s - \vec{p}_r}{|\vec{p}_s - \vec{p}_r|} - \frac{\Delta f}{f_T} \cdot c$$

A partir desta equação linear é possível transformar numa expressão matricial, que contém as equações correspondentes às observações do desvio doppler do sinal de vários satélites:

$$A \cdot X = L \quad (4)$$

Onde A é a matriz dos coeficientes e contém os vectores de direcção do receptor para cada um dos satélites visíveis (valores com índice superior, 1 ou n) referem-se aos satélites, o vector X é o das incógnitas e o vector L é o das observações:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{x_s - x_r^1}{|\vec{p}_s - \vec{p}_r^1|} & \frac{y_s - y_r^1}{|\vec{p}_s - \vec{p}_r^1|} & \frac{z_s - z_r^1}{|\vec{p}_s - \vec{p}_r^1|} & -c \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{x_s - x_r^n}{|\vec{p}_s - \vec{p}_r^n|} & \frac{y_s - y_r^n}{|\vec{p}_s - \vec{p}_r^n|} & \frac{z_s - z_r^n}{|\vec{p}_s - \vec{p}_r^n|} & -c \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \\ dt \end{bmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} \vec{v}_s^1 \cdot \frac{\vec{p}_s - \vec{p}_r^1}{|\vec{p}_s - \vec{p}_r^1|} - \frac{\Delta f^1}{f_T} \\ \dots \\ \vec{v}_s^n \cdot \frac{\vec{p}_s - \vec{p}_r^n}{|\vec{p}_s - \vec{p}_r^n|} - \frac{\Delta f^n}{f_T} \end{bmatrix}$$

Salienta-se que A é igual à matriz de desenho para a determinação da posição absoluta por pseudo-distância. Conclui-se que a influência da geometria dos satélites visíveis na exactidão da posição, avaliada pelos parâmetros DOP (Dilution Of Precision), também se aplica em igual medida na determinação instantânea da velocidade através do desvio doppler.

A posição do satélite é determinada usando formulário conhecido [ICD GPS 200, 1993] a partir da mensagem de navegação que permite calcular a posição WGS 84 de cada satélite, num dado instante. A velocidade do satélite é determinada a partir de posições sucessivas. A posição do receptor é determinada a partir de observações de pseudo-distância cuja metodologia se encontra descrita na literatura [WELLS *et al.*, 1987].

Para resolver a equação (4) foi usado método dos mínimos quadrados:

$$X = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot P \cdot L$$

Onde P é a matriz do peso das observações, que se considerou igual a $\sigma_0 \cdot I$, onde σ_0 é um valor *a priori* da variância e I é a matriz identidade.

O valor do vector velocidade calculado está orientado segundo o referencial geodésico (neste caso o WGS 84), havendo que efectuar uma transformação para um sistema de coordenadas geodésico local (SGL):

$$X_{SGL} = P_y \cdot R_y(\pi/2 - \varphi) \cdot R_x(\lambda - \pi) \cdot X_{WGS}$$

Onde P e R são matrizes de reflexão e de rotação, respectivamente, com o índice inferior a indicar o eixo a que se refere a transformação. As variáveis φ e λ representam a latitude e longitude geodésica, que foram determinadas a partir da solução de posicionamento absoluto por pseudo-distância.

O modelo matemático apresentado implica o conhecimento da posição absoluta, por forma a permitir determinar os vectores unitários de orientação do receptor para cada um dos satélites. Os componentes destes vectores compõem a matriz A . Salienta-se que a influência de um erro da ordem de 100 m na posição é negligível, uma vez que não altera a o vector unitário de orientação para satélites que estão a cerca de 20000 km de distância do receptor.

4. Análise de exactidão

O GPS é composto por uma constelação de satélites em movimento orbital constante com receptores que estão localizados à superfícies da Terra. Mesmo para um receptor fixo à superfície da Terra as distâncias aos satélites variam a elevada velocidade, isto é, para o GPS em modo de posicionamento absoluto e instantâneo, um receptor estático é como se estivesse em movimento com velocidades relativas (receptor-satélite) da ordem dos milhares de metros por segundo.

Considerando o atrás descrito, a exactidão deste método de determinação do vector velocidade pode ser analisada a partir das observações efectuadas numa estação GPS estática. Saliente-se que o termo estático significa que a velocidade topocêntrica é igual a zero.

Para efectuar a análise de exactidão

foram usados dados GPS gravados numa estação estática instalada nas proximidades do farol do Cabo Carvoeiro, no dia 14 de Outubro de 2002. Para o efeito foi usado um receptor GPS Trimble 4000 SSE e uma antena Trimble geodetic L1/L2. Os dados foram gravados de segundo a segundo durante um período contínuo de seis horas, desde as 1500 UTC. No total foram gravados 21600 instantes de observações, dos quais 472 apresentaram erros grosseiros nas observações de pseudo-distância de alguns satélites e foram desprezados. Os ficheiros de dados em formato proprietário do fabricante dos receptores foram posteriormente convertidos para RINEX versão 2.1.

O modelo matemático foi implementado num programa em linguagem C++, especialmente concebido para determinar a velocidade topocêntrica, valores DOP e número de satélites visíveis. Os resultados obtidos estão representados nos gráficos da velocidade tridimensional e da velocidade horizontal, em anexo. Como a estação estava parada (num referencial topocêntrico) a velocidade deveria ser nula, pelo que os gráficos permitem estimar o valor do erro, e daí a serem designados gráficos dos erros. Juntamente com esses gráficos estão também representados os gráficos de PDOP (por debaixo do gráfico da velocidade tridimensional) e o gráfico de HDOP (por debaixo do gráfico da velocidade horizontal).

Da inspecção visual dos gráficos de erros conclui-se o seguinte:

- O erro da velocidade está directamente relacionado com os valores de DOP. Quanto maior o valor de DOP maior o erro.
- O PDOP é, em certos períodos, duas a três vezes superior ao HDOP. Esta diferença era esperada, uma vez que a geometria dos satélites GPS é normalmente mais desfavorável para o cálculo da coordenada vertical.
- A velocidade horizontal tem um nível de exactidão superior ao da velocidade tridimensional devido essencialmente à influência da geometria, representada pelos valores DOP.

Os parâmetros estatísticos dos gráficos de erros estão resumidos na tabela e gráfico seguintes:

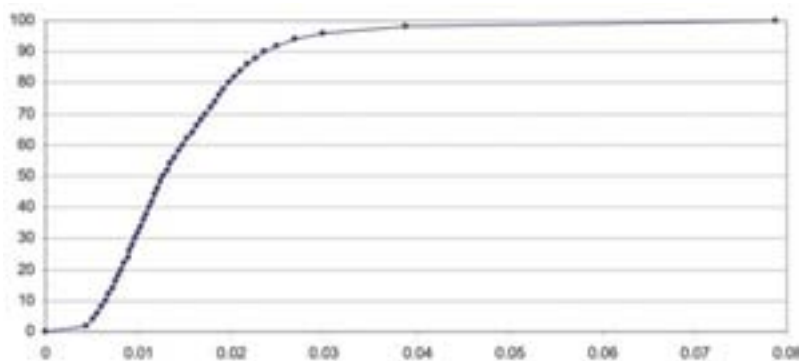


Figura 2 – Gráfico da distribuição cumulativa do erro da velocidade «doppler GPS» tridimensional

Erro da velocidade	Média (m/s)	Máximo (m/s)	Desvio padrão (m/s)
Tridimensional	0.015	0.078	0.008
Horizontal	0.010	0.028	0.005

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos dos erros observados.

Salienta-se que a distribuição de erros não é gaussiana, devido à dependência relativamente aos valores de PDOP. Os parâmetros estatísticos dos erros da amostra são representativos do nível exactidão, que um utilizador deverá obter em condições normais de operação.

5. Aplicação à oceanografia

A iniciativa do desenvolvimento e exploração deste método de determinação do vector velocidade teve por origem a tentativa de resolução de um problema prático. Esse problema consistiu na determinação do vector velocidade de uma bóia oceanográfica (figura 2). Nessa bóia estava instalado um sensor ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) que permite adquirir informação do perfil vertical da corrente, sendo necessário compensar com os valores do vector da velocidade de deriva do próprio sensor. Na área de trabalho a profundidade excedia a limite máximo abaixo do qual o ADCP consegue determinar a velocidade de deriva com os seus próprios sensores.

Para resolver o problema da determinação do vector velocidade de deriva da bóia, foi instalada uma antena GPS, a fim de recolher dados para determinar a velocidade de deriva através da metodologia descrita. O receptor estava instalado a bordo do navio (trata-se de uma instalação experimental), sendo a bóia colocada na água e deixada à deriva, com ligação ao navio por um cabo de força, o qual tinha amarrado o cabo da antena. O receptor era da marca Trimble 4000 SSE, sendo os dados gravados de segundo a segundo.

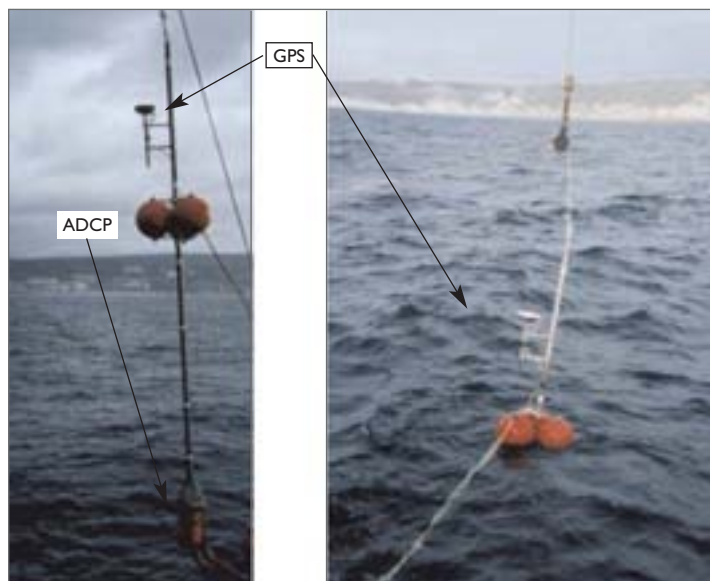


Figura 2 – Bóia oceanográfica com ADCP e antena GPS

O processamento dos dados permitiu determinar o vector da velocidade de deriva da bóia durante as estações de recolha de dados, quando a bóia era colocada a pairar junto ao navio. A figura 3 representa os componentes da velocidade horizontal da antena GPS da figura 2 durante uma estação oceanográfica com a duração de 35 minutos. A velocidade horizontal estimada não corresponde à velocidade de deriva pura, pois durante a estação a antena estava sujeita a balanços de curto período devido à vaga. Em média ocorreu uma deriva para oeste-sudoeste com o valor de 1 m/s.

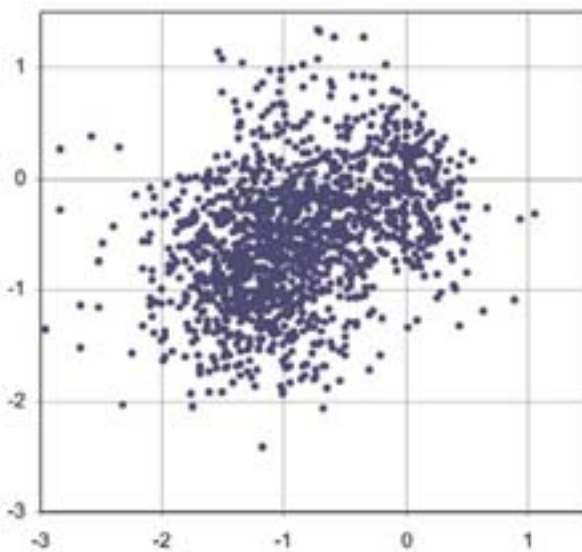


Figura 3 – Velocidade de deriva da bóia oceanográfica (m/s)

Antenas GPS instaladas em bóias ondógrafo podem constituir um meio adicional de medir os parâmetros de ondulação, em conjunto com os métodos tradicionais baseados em acelerómetros. Ensaios efectuados em bóias experimentais [Gus et al., 2003] indicam que os resultados obtidos por um sistema independente baseado em bóias GPS produzem resultados virtualmente idênticos aos obtidos pelas bóias ondógrafos baseadas em medições com acelerómetros.

6. Considerações finais

Os resultados obtidos indicam um nível de exactidão bastante razoável para a grande maioria de aplicações no domínio do mar. Em condições de PDOP não desfavoráveis (PDOP menor que 4) é possível determinar o vector velocidade tridimensional com uma exactidão da ordem do cm/s. A exactidão depende da geometria tal como acontece na determinação da posição absoluta.

Da avaliação das características indicadas por diversos fabricantes de sensores de movimento que integram receptores GPS com

sensores inerciais (GPS/INS) constatou-se que o valor indicado para a exactidão da medição da velocidade varia entre 3 e 5 cm/s. Esta metodologia, apenas com um único receptor GPS permite obter um nível de exactidão superior. Eventualmente a integração deste tipo de informação em sensores GPS/INS permitirá melhorar o seu desempenho.

A aplicação desta metodologia à navegação é imediata, designadamente como um sensor adicional para determinação do rumo e velocidade do navio. Salienta-se que uma antena no topo do mastro está sujeita a movimentos de balanço que devem ser filtrados para determinação do rumo e velocidade devido ao movimento de translação pura.

Referências

- GUS, J., I. BELLAMY, J.J. VRIES, P. WEERT (2003) «Sea Trial of the New Datawell GPS Directional Waverider» *Proc. Of the IEEE/OES Seventh Working Conference on Current Measurement Technology*.
- HILL, J. (2001) «The principle of a snapshot navigation solution based on doppler shift» *ION GPS 2001*, 11-14 September 2001, Salt Lake City, UT, pp. 3044-3051.
- LAURILLA, S.H. (1976) *Electronic Surveying and Navigation*. Wiley Inter-science, Jonh Wiley and Sons, Inc.
- LEICK, A. (1995) *GPS Satellite Surveying*. Second edition, Wiley Inter-science, Jonh Wiley and Sons, Inc.
- PARKINSON, B.W. (1995) «A History of Satellite Navigation» *Navigation: Journal of the Institute of Navigation*, Vol. 42, n.º 1, Special Issue, pp. 109-165.
- WELLS, D., N. BECK, D. DELIKARAOGLOU, A. KLEUSBERG, E.J. KRAKIWSKY, G. LACHAPPELLE, R.B. LANGLEY, M. NAKIBOGLOU, K. SCHWARZ, J.M. TRANQUILLA (1987) *Guide to GPS Positioning*. Canadian GPS Associates, second printing, May 1987.

Anexo

Gráficos de erros

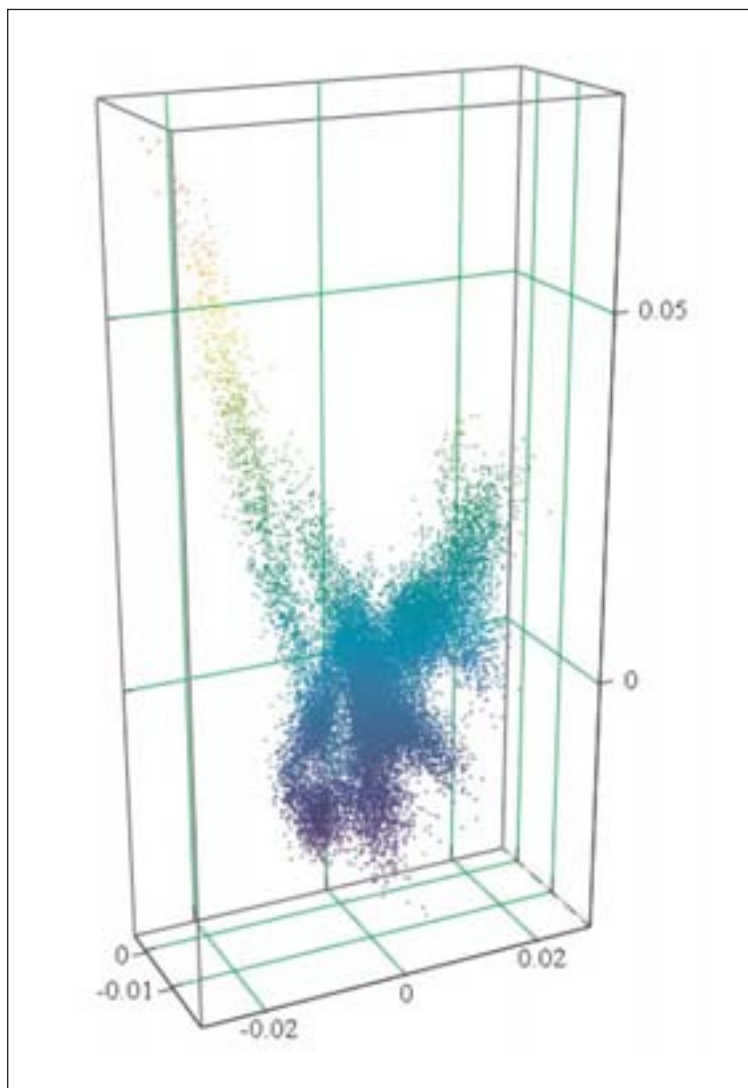
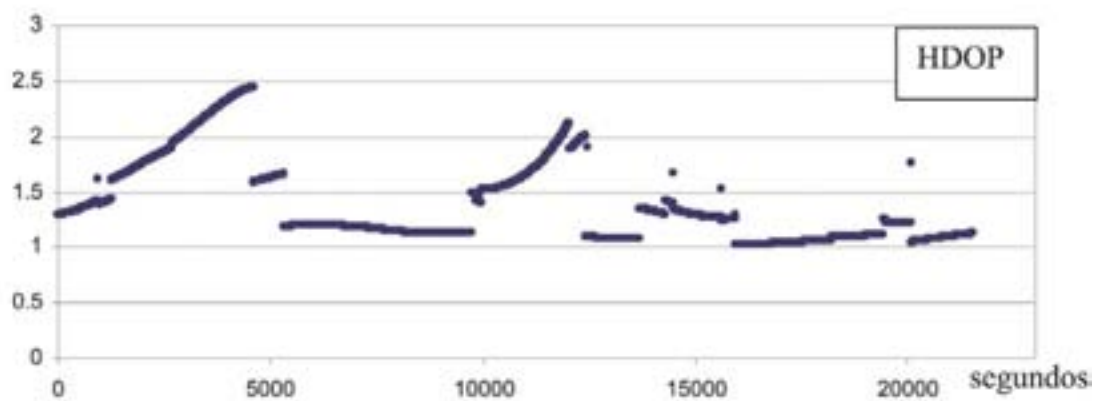
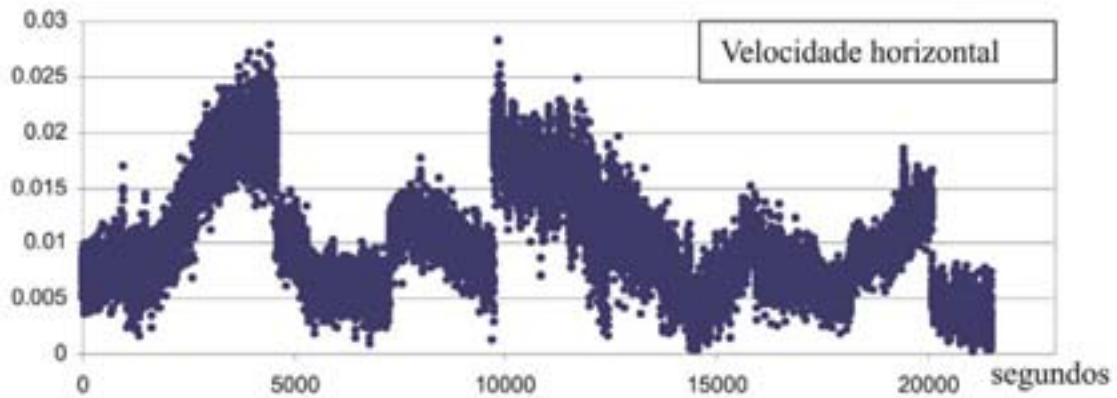
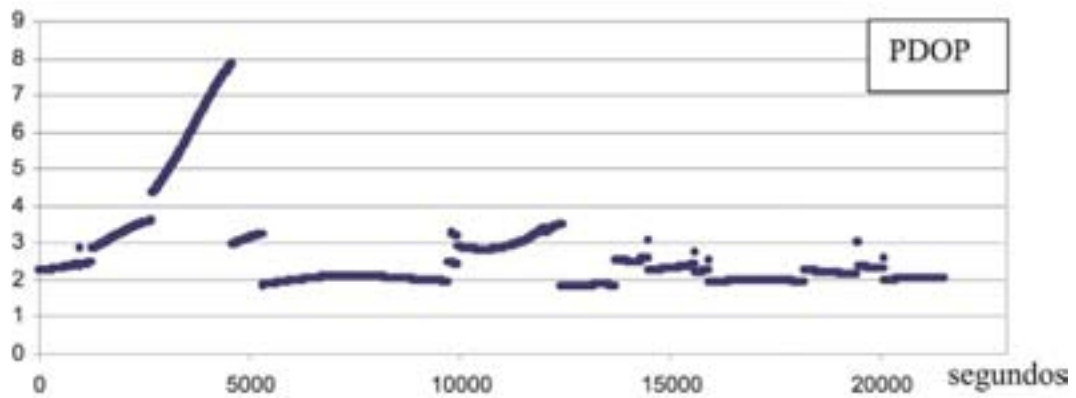
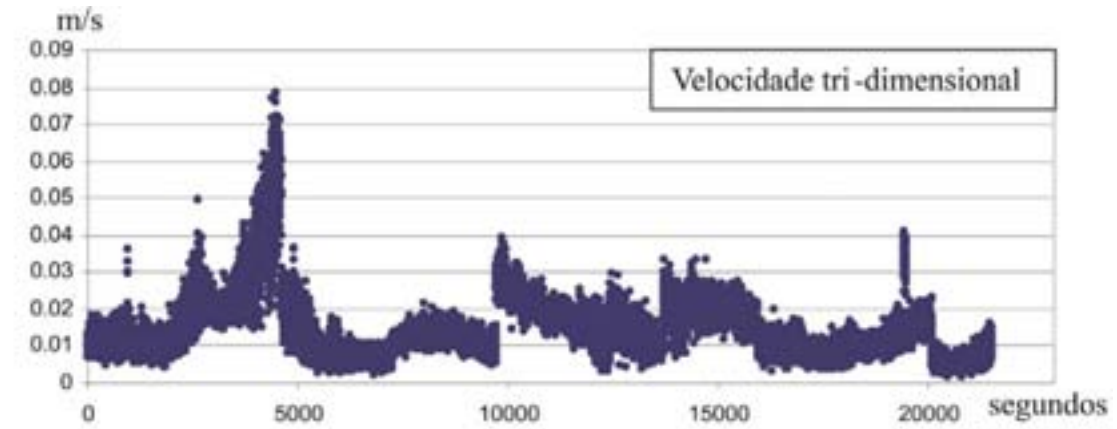


Gráfico de distribuição espacial dos erros (m/s)



Gráficos de variação temporal dos erros:

Produção e actualização de Cartas Electrónicas de Navegação

Antonieta José, ENGENHARIA GEOGRÁFICA

Helena Julião, ADMINISTRAÇÃO E GESTÃO MARÍTIMA

Isabel Fortes, ENGENHARIA GEOGRÁFICA

Isabel Pais da Silva, ENGENHARIA GEOGRÁFICA

Martins Pinheiro, PRIMEIRO-TENENTE

Resumo A Carta Electrónica de Navegação Oficial (CENO) S-57/3 é um novo produto digital para navegação marítima, em produção no Instituto Hidrográfico, cuja estrutura de dados obedece às normas internacionais para transferência de dados hidrográficos. As regras de modelação e codificação da informação existente nas cartas náuticas encontram-se contidas na publicação da Organização Hidrográfica Internacional (OHI) *Special Publication number 57, edition 3* com a designação: *IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data*.

As normas S-57/3, publicadas em 1996 pela OHI, são o resultado final de cerca de 9 anos de debate e evolução na área dos Sistemas de Informação Marítima e contêm as Normas de Transferência, um Modelo de Dados, um Catálogo de Objectos e a Especificação para Produção de CENO. Este documento, desenhado com base numa estrutura Orientada por Objectos (O-O), apresenta como uma das vantagens em relação aos métodos tradicionais de codificação, uma facilidade intrínseca na correcção e manutenção dos dados.

A área dos Sistemas de Informação Geográfica, onde se enquadram perfeitamente as cartas electrónicas e os sistemas de visualização das cartas electrónicas, os *Electronic Chart Display and Information System* abreviadamente ECDIS, é uma área em permanente evolução onde a inovação marca presença assídua e onde todos os dias surgem novos produtos e novas capacidades. É neste sentido que começam a surgir novos produtos baseados em S57 para utilização militar, e neste âmbito por forças navais – *Additional Military Layers* (AML). Em paralelo, e fruto da permanente evolução já referida, começa a tomar forma o conceito de *Warship ECDIS* (WECDIS).

Abstract *The Electronic Navigational Chart (ENC) is a new digital product for maritime shipping, in production by the Instituto Hidrográfico, whose data structure obeys to the international standards for transfer of hydrographic data. The modulation and codification rules of the existent information in the nautical charts are contained in the publication of the International Hydrographic Organization (IHO) «Special Publication number 57, edition 3» with the designation: IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data.*

The standard S-57/3, published in 1996 by IHO, they are the final result about 9 years of debate and evolution in the area of the Geographic Information System (GIS) and they contain a Data Model, a Catalogue of Objects and the ENC Product Specification. This document, drawn with base in an Object-Oriented structure (O-O), presents as one of the advantages in relation to the traditional methods of codification, an intrinsic easiness in the correction and maintenance of the data.

The area of the GIS, where they are perfectly framed the electronic charts and his systems of visualization, Electronic Chart Display and Information System briefly ECDIS, is an area in permanent evolution where the innovation marks assiduous presence and where everyday new products and new capacities appear. It is in this sense that they begin to appear new based products in S57 format for military use, and in this extent for naval forces – Additional Military Layers (AML). In parallel, and fruit of the permanent evolution already referred, it begins to take form Warship ECDIS concept (WECDIS).

1. Introdução

Nos últimos anos do século passado, emergiu a necessidade de desenvolver novos produtos náuticos, ditada por um conjunto diverso de circunstâncias, de entre as quais destacamos:

- um aumento considerável do tráfego marítimo, particularmente nas passagens mais estreitas;
- construção de navios cada vez mais rápidos;
- generalização e crescente aumento de exactidão

dos sistemas electrónicos de posicionamento, como o GPS;

- aumento dos calados dos navios, que levaram a que nalgumas zonas do globo a condução da navegação pudesse ser efectuada com pés-de-piloto¹ bastante reduzidos;

¹ Pé-de-piloto («*underkeel clearance*») é a distância mínima entre a quilha, ou a parte mais imersa do casco e acessórios, e o leito do mar, ou fundo, a manter quando o navio navega.

- multiplicação das cargas perigosas transportadas por via marítima, com possíveis consequências humanas, ecológicas e económicas cada vez mais pesadas em caso de acidente;
- redução dos efectivos a bordo dos navios (com as consequentes dificuldades para manter actualizados e corrigidos os documentos náuticos em papel).

O aparecimento de novas tecnologias e a disponibilidade de um sistema de posicionamento de grande exactidão, como o *DGPS (Differential Global Positioning System)*, conduziram ao desenvolvimento de um novo produto digital, a Carta Electrónica de Navegação Oficial (CENO).

A CENO traduz um esforço global em operar um serviço digital mundial, uniformizado e normalizado levado a cabo pela comunidade hidrográfica internacional, sendo que a segurança marítima e os factores económicos são duas das principais razões apontadas para o desenvolvimento de um sistema de navegação automatizado.

Para além da sua aplicação mais comum, que é a utilização na navegação marítima, as CENO, são autênticos SIG (Sistemas de Informação Geográfica) marítimos que permitem inúmeras aplicações. Podem ser integradas com outros SIG, podendo responder eficazmente a um mercado cada vez mais exigente quanto à quantidade e qualidade da informação: seja o caso dos *Vessel Traffic Services*, destinados à gestão e vigilância do tráfego marítimo na costa, bem como noutros sistemas de vigilância e em sistemas de monitorização ambiental.

As CENO são visualizadas a bordo dos navios através de um ECDIS (*Electronic Chart Display and Information System*). Estes, beneficiando das tecnologias mais modernas em termos de SIG e de sistemas de radioposicionamento, automatizam algumas das tarefas humanas que se traduzem na redução do tempo e do esforço de marcar a posição do navio, na facilidade de corrigir as cartas náuticas e na melhoria da segurança marítima.

O Instituto Hidrográfico (IH) é, em Portugal, o serviço público encarregue de recolher e difundir a informação náutica necessária para a segurança da navegação, obrigação que resulta de convenções internacionais subscritas pelo Estado Português, às quais o IH consagra uma parte importante dos seus recursos. As actividades do IH são apoiadas numa competência e numa experiência acumulada ao longo de várias décadas de adaptação contínua aos novos métodos de navegação. O IH desde cedo acompanhou o processo decorrente da constituição das normas S57, dando início em 1998 a um projecto de implementação de uma estrutura de produção de CENO na Divisão de Hidrografia, processo esse que devido à complexidade do produto e do controlo da qualidade exigiu um período alargado de formação de pessoal e aquisição de meios.

Neste artigo serão descritos os procedimentos relativos à construção, controlo da qualidade e manutenção das CENO no IH, assim como a sua comercialização e distribuição.

2. Produção e manutenção das CENO no Instituto Hidrográfico

2.1. Construção das CENO

As CENO, são um produto de elevado rigor técnico e são elaboradas de acordo com as normas internacionalmente aceites e aprovadas pela Organização Hidrográfica Internacional (OHI) no documento *IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data (S57)*. A sua produção é apoiada em ferramentas SIG para responder aos requisitos da norma internacional S57.

O conceito S57, surge da evolução dos documentos da OHI que tinham como finalidade a construção de normas que viabilizassem não só a produção de uma Carta Electrónica Oficial sob o mesmo formato, internacionalmente reconhecido, mas que também facilitasse a troca de informação hidrográfica entre produtores oficiais (Institutos Hidrográficos), utilizadores (navegantes), e outras instituições. O documento contém as normas genéricas a que devem obedecer os produtos hidrográficos, nomeadamente o modelo utilizado para transformar os objectos do mundo real em código de computador, um catálogo ou dicionário de objectos hidrográficos e as normas de codificação dos objectos hidrográficos contidos na carta de papel quando importados para a CENO. As normas S57 estimularam os Organismos Hidrográficos a construir uma base de dados orientada por objectos que contenha toda a informação hidrográfica.

Um objecto S57 é uma representação de um objecto do mundo real (por exemplo uma bóia, cais, linha de costa, etc) que contém a sua localização geográfica e geometria associada (objecto espacial) e uma série de atributos associados (objecto *feature*). Existem quatro tipos de objectos *feature*:

- **Meta-objectos:** contém informação sobre outros objectos incluindo por exemplo, a exactidão da informação e da escala de compilação;
- **Geo-objectos:** contém as características descritivas das entidades do mundo real. Classes de geo-objectos são por exemplo BOYLAT (*buoy, lateral*), COALNE (*Coastline*);
- **Objectos cartográficos:** contém informações sobre a representação cartográfica;
- **Collection objects:** que descrevem as relações entre os objectos.

Na produção da CENO utilizam-se algumas especificações que são as chamadas especificações de produ-

ção. Estas especificações constam no *ENC Product Specification*, que é um dos apêndices que compõem a publicação S57. Este apêndice foi estabelecido com o intuito de minimizar os requisitos de armazenamento, que permitem aceder à informação visualizada no ECDIS efectuando um processamento mais rápido da informação, e permitir a produção consistente da CENO. Para atingir este objectivo, surgem os seguintes requisitos:

- *Datum* WGS-84²;
- Sistema de coordenadas expresso em latitude e longitude (com um número de casas decimais escolhidas pela entidade produtora da informação);
- Distância entre pontos deve ser filtrada, por forma a que não ultrapasse os 0.3mm (obrigatório);
- Informação distribuída por camadas, sendo uma delas obrigatória e composta por objectos do tipo área (denominada *skin of the earth*³) que constituem o grupo 1 das CENO. Os restantes objectos fazem parte do grupo 2.

Para além disso, é topologicamente estruturada, empregando um modelo *Chain node*⁴ como especificado no documento.

A informação da CENO é usualmente retirada do ficheiro que originou a carta de papel. A produção de cartas de papel e cartas digitais coexiste dentro do IH, na mesma linha de produção, sendo que a produção da carta de papel é efectuada de duas formas: a Cartografia Tradicional, cujo trabalho é baseado em processos manuais e na separação de cores, e a Cartografia Assistida por Computador (CAC).

Na CAC, são criados ficheiros digitais, os quais são compilados (com recurso a ferramentas CARIS) a partir das habituais fontes de informação: pranchetas de sondagem, ficheiros de sondagem, fotografias aéreas, anteriores edições de cartas náuticas, etc. Estes ficheiros destinam-se a ser utilizados tanto nas cartas de papel (que podem ser obtidas por impressão dos ficheiros gerados na CAC), como nas CENO.

Na linha de produção das CENO, estes ficheiros são convertidos no formato S57, transformando as *features*

² O WGS-84 é um sistema geodésico de referência válido para todo o mundo, desenvolvido pelos Estados Unidos da América e recomendado pela Organização Hidrográfica Internacional para utilização em hidrografia e cartografia.

³ *Skin of the earth* é a designação do conjunto de 7 objectos do tipo área, que não se podem cruzar entre si e que devem cobrir toda a área da célula que contém informação. Este conjunto de objectos (LNDARE, DEPARE, DRGARE, FLODOC, HULKES, PONTON e UNSARE) constitui o grupo 1.

⁴ *Chain node* é um modelo topológico que obedece às seguintes condições: série de nós e linhas; representações pontuais definidas por nodos (isolados ou de conexão); linhas definidas por séries de linhas e nodos conectados; áreas definidas por círculos fechados formados por linhas que começam e acabam no mesmo nodo; geometria duplicada proibida.

CARIS em objectos definidos no dicionário de objectos das normas S57. Após esta transformação inicia-se a construção da CENO com o programa *ENC Designer* da *SevenCs*. No final da construção utiliza-se também o programa *ENC Optimizer* que desempenha processos automáticos de optimização como por exemplo operações de generalização, eliminação de redundâncias e verificação da estrutura geométrica da célula. Posteriormente as CENO são submetidas a um rigoroso controlo de qualidade.

2.2. Controlo da qualidade

O controlo da qualidade das CENO requer não só a verificação da representação gráfica correcta de todos os objectos, de acordo com o definido no dicionário de objectos S57, mas também a verificação da integridade dos dados. Em suma, nesta fase é feita uma verificação exhaustiva e pormenorizada da estrutura geométrica da célula, da codificação dos objectos e das relações entre as diferentes classes de objectos, segundo as normas S57.

O IH definiu que no controlo da qualidade das suas CENO utilizam-se os programas *ENCAnalyzer* da *SevenCs*, *dKart Inspector* da *HydroService AS* e *CARIS Hydrographic Object Manager* (HOM) da *USL (Universal Systems Ltd.)*.

A fase final deste processo consiste numa verificação externa ao sector de produção, que compete a técnicos da Divisão de Navegação do IH (recorde-se que a produção das CENO está cometida à Divisão de Hidrografia).

2.2.1. *ENCAnalyzer*

O programa *ENCAnalyzer*, corre sobre o ficheiro S57, e verifica a célula segundo as especificações das normas S57.

O *ENCAnalyzer* durante a fase de carregamento da célula verifica erros de encapsulamento e de gravação interna dos objectos. Após isto corre sobre o ficheiro S57, e verifica a seguinte informação:

- *Attribute*, verifica todos os atributos preenchidos e se os seus valores para cada um dos objectos são ou não permitidos;
- *Topology*, verifica o modelo topológico implementado (*chain node*);
- *Data dictionary*, verifica todas as classes de objectos, as suas representações geométricas e os respectivos atributos;
- *Depth Area*, verifica se as áreas de profundidade e respectivas batimétricas estão de acordo com as normas;
- *Sounding*, verifica se as sondas estão devidamente codificadas;
- *Light sector*, se os sectores das luzes estão conforme as normas S57;

- *Use of the Object Catalogue*, verifica os objectos na célula segundo as publicações S57;
- *Navmark*, se as bóias e balizas estão de acordo com o sistema IALA A;
- *Group 1*, verifica se a célula está devidamente coberta pelos objectos do grupo 1;
- *Meta hierarchy*, verifica os meta-objectos e a sua hierarquia;
- *Redundancy*, verifica a duplicação de linhas, pontos ou *features*;
- *Spatial*, verifica as relações espaciais proibidas e obrigatórias entre determinados objectos;
- *Relationship*, verifica as relações entre os objectos (ex: *master/slave*⁵).

2.2.2. dKart Inspector

O programa *dKart Inspector*, da *HydroService AS*, é independente dos programas utilizados no processo de produção. Também neste caso, o programa corre sobre o ficheiro S57, verificando a seguinte informação constante na CENO:

- *Geometry*, verifica cada um dos objectos espaciais individualmente, para averiguar se estão correctos (polígonos fechados, a mesma linha que não se cruza a si mesma, etc.);
- *Spacial Redundancy*, verifica se existem objectos espaciais repetidos;
- *Spacial Orphans*, verifica se existem objectos espaciais não codificados, isto é, sem objecto S57;
- *GEO Objects*, analisa cada um dos objectos S57 individualmente e verifica o seguinte:
 - Codificação correcta de todos os objectos e atributos;
 - Existência de atributos obrigatórios codificados;
 - Conformidade dos dados com os valores estipulados para cada um deles;
- *Cartographic Objects*, verifica se existem objectos cartográficos, que é um tipo de objectos que eram permitidos na versão 2.0 das normas S57 e que foram proibidos na actual versão;
- *Composite Objects*, verifica se existem e estão bem codificadas algumas relações especiais do tipo *master-slave*⁵ e *peer-peer*⁶, conforme o definido nas normas S57;

⁵ *Master-slave* são relações hierárquicas previstas nas normas S57, e que designam para o mesmo objecto espacial uma *feature* como *master* e as restantes como *slaves* (por exemplo um objecto do tipo bóia é considerado como sendo *master*, a sua luz, alvo e reflector são todos *slaves*).

⁶ *Peer-peer* são associações ou agregações de objectos que pela sua natureza e importância se podem combinar e que podem ou não estar dependentes uns dos outros para existirem (por exemplo uma bóia a assinalar um navio naufragado é composta por dois objectos, os quais formam uma associação pois sem navio naufragado não haveria razão para existir a bóia).

- *Encoding Rules*, verifica se a codificação dos atributos nos objectos está correcta e lógica;
- *Depths Encoding*, verifica se as áreas que definem as profundidades estão correctas em função das isobatimétricas e das sondas e se seguem uma sequência lógica;
- *TGI Completeness Test*, verifica se a área navegável da CENO se encontra, toda ela, coberta por objectos do grupo 1 (*skin of the earth*), sem buracos ou sobreposição de informação;

2.2.3. Hydrographic Object Manager (HOM)

Durante o processo de controlo de qualidade pode-se também correr o programa *Hydrographic Object Manager* (HOM) da USL.

Este programa utiliza dados de um ficheiro HOB (*Hydrographic Object*) para as *features* e o seu ficheiro CARIS equivalente para os objectos espaciais.

Através de uma janela gráfica interactiva, o programa permite verificar visualmente se existem incoerências nos dados, e controlar a qualidade textual através da interrogação de objectos para verificar se os seus atributos obrigatórios e as suas primitivas geométricas estão correctamente codificados e de acordo com as normas S57. Este programa contém ainda o separador *Quality Assurance* que permite fazer alguns tipos de controlo de qualidade, embora estes sejam análogos aos dos anteriores programas. Este programa é geralmente utilizado na identificação e limpeza de erros pontuais mais complexos.

2.2.4. Auditoria Externa

Na última fase do controlo da qualidade, interessa, por um lado, que as CENO sejam verificadas por uma entidade externa ao sector da produção e, por outro, que elas sejam verificadas no ambiente em que vão ser utilizadas, o sistema ECDIS.

O ECDIS é o sistema de visualização da carta electrónica de navegação, concebido para ser usado a bordo de navios, e que integra informação de um sistema de radionavegação rigoroso (GPS ou DGPS) e mostra a posição do navio, em tempo real, sobre a carta electrónica. Num ECDIS, a situação da navegação pode ser automaticamente interpretada através de operações típicas dos SIG, tal como a geração de alarmes sempre que se ultrapasse uma área definida pelo operador (por exemplo, quando a profundidade for superior a um valor introduzido pelo operador).

Cabe à Divisão de Navegação esta última tarefa de verificação e validação da informação constante nas CENO. Para esse efeito, utiliza um programa de um sistema ECDIS certificado, o *Navi-Sailor 2400 ECDIS* da firma TRANSAS, só que em vez de estar instalado num ECDIS propriamente dito, está instalado num computador *desktop*. Este programa é, no entanto, igual ao dos sistemas ECDIS instalados a bordo dos navios.

O programa corre sobre o ficheiro S57, interpreta-o e, se este ficheiro estiver de acordo com o documento S57, converte-o para o formato SENC. Este ficheiro SENC, que representa a base de dados utilizada efectivamente pelo ECDIS, que em certas circunstâncias é o equivalente à carta de papel actualizada e pode incorporar informações provenientes de outras fontes. Ao ser visualizado no monitor que o sistema possui, permite efectuar uma verificação manual dos seus objectos e atributos, nomeadamente aqueles que mais interessam à segurança da navegação.

2.3. Plano de produção

O plano estratégico de produção das CENO foi estabelecido com o objectivo de satisfazer o mais rapidamente possível as necessidades mais importantes da navegação marítima em toda a extensão da costa portuguesa. Teve em linha de conta o tráfego de navios de mercadorias e de passageiros que passam ao largo da nossa costa e asseguram o transporte marítimo essencial à economia portuguesa e europeia. Desta forma, foi dada prioridade máxima à construção de CENO para navegação costeira (escala de compilação compreendida entre 90 000 e 349 999) que cobrem toda a costa de Portugal Continental, numa área que vai até cerca de 60 milhas da linha de costa. Concluída a cobertura das águas costeiras, procedeu-se à cobertura com CENO portuárias dos principais portos nacionais (Lisboa, Leixões, Setúbal e Sines). Seguidamente, atendendo à importância do transporte marítimo para os Arquipélagos da Madeira e dos Açores, assim como à extensão da Zona Económica Exclusiva portuguesa, foi iniciada a produção de CENO desses arquipélagos, de forma a permitir a qualquer navio cruzar as suas águas, navegar ao longo da costa ou demandar qualquer um dos seus portos com a máxima segurança e eficiência.

3. Actualizações das CENO

A exemplo do que acontece com as cartas de papel, as CENO também são afectadas por correcções, que neste caso tomam o nome de *updates*. Estes *updates* são produzidos nos serviços hidrográficos produtores de CENO, e podem ser quanto à sua natureza, de carácter permanente, preliminar e temporário.

O IH só produz *updates* às CENO de carácter permanente. Tal como para a célula base, a produção de *updates* resulta da compilação da informação originária, quer da cartografia tradicional e automática, quer da Divisão de Navegação.

Para além das actualizações correspondentes aos Avisos Permanentes editados no Grupo Quinzenal de Avisos aos Navegantes, a CENO gerou também um novo tipo de correcção, inerente aos programas utilizados na sua produção, e que não tem por isso, qualquer corres-

pondência com os avisos tradicionais. Podem assim ter-se correcções resultantes de:

- Erros de construção da célula só detectados com novas versões dos programas de controlo de qualidade;
- Imprecisões e lapsos dos programas que impeçam a criação do *update*, obrigando a uma nova edição da CENO.

Podem ocorrer situações em que existam Avisos Permanentes que não obriguem à correcção da respectiva CENO. Caso da informação a alterar constar numa zona de sobreposição de duas cartas tradicionais de papel (CNO), tendo uma delas sido anteriormente corrigida, bem como a CENO correspondente.

O IH preconiza a actualização das suas CENO de forma sincronizada com o Grupo Quinzenal de Avisos aos Navegantes, podendo os *updates* ser automaticamente inseridos na célula pelo equipamento ECDIS assim que os recebe por qualquer um dos meios configurados e à sua disposição. Os *updates* de carácter preliminar e temporário também podem ser lidos de uma forma geral pelos sistemas ECDIS, mas como as datas que os colocam em vigor ou em que deixam de estar em vigor não conseguem ser identificadas e aplicadas pelos equipamentos ECDIS, o IH, por uma questão de segurança, optou por não os efectuar. Estes *updates* podem no entanto ser introduzidos manualmente pelo operador de ECDIS a bordo do navio.

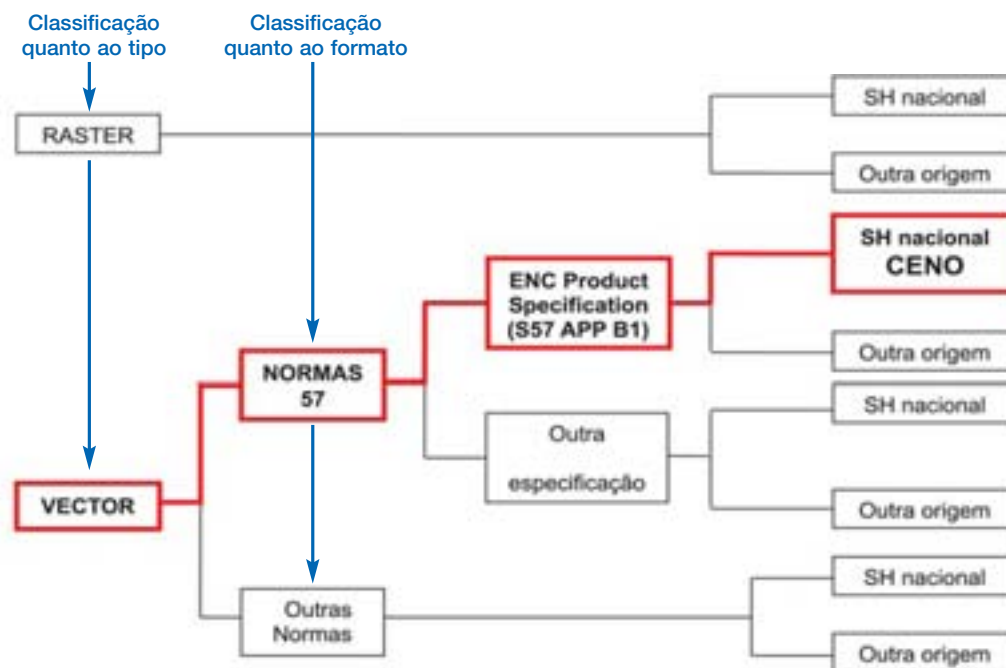
Tal como as CENO, também os *updates* podem ser distribuídos pelos Centros Coordenadores Regionais (RENC) através da sua cadeia de distribuidores autorizados. O ECDIS consegue aceder, ler e carregar a informação de várias formas. Pode ser através de disquetes ou CD-ROM onde estes foram previamente guardados, ou pode ser através de uma ligação à Internet ou por e-mail transmitido para bordo dos navios via Inmarsat ou GSM.

Para os navios da Marinha de Guerra Portuguesa, os *updates* produzidos pelo IH para as suas CENO são também sincronizados com o Grupo Quinzenal de Avisos aos Navegantes. Desta forma, sempre que é editado um destes grupos é criado em simultâneo um ficheiro denominado *Exchange Set* que contem toda a informação válida até esta data. Este ficheiro é gravado e distribuído sob a forma de CD-ROM.

4. Classificação dos dados cartográficos

Da mesma forma que existe uma certa confusão entre uma CENO e um SENC, parece existir uma grande confusão no que respeita a:

- diferentes tipos de carta electrónica;
- diferentes formatos actualmente existentes no mercado;
- estatuto dos dados; oficial se forem criados por um serviço hidrográfico nacional ou não;



Esquema de classificação das cartas electrónicas

O esquema acima propõe uma classificação baseada nestes critérios.

Considerando esta classificação, toda a carta electrónica pode ser classificada como sendo em tipo vector ou *raster*. Se for do tipo vectorial, ela pode ser codificada de acordo com o formato da OHI (S57) ou de acordo com outro formato privado. A carta conforme a norma S57 não pode ser considerada uma CENO se não estiver de acordo com o *ENC Product Specification*. A origem da carta, que poderia ser da responsabilidade de um serviço hidrográfico ou não, não tem qualquer influência sobre o tipo de dados (vectorial ou *raster*) nem sobre a conformidade com as normas (S57 ou não). No entanto, só as cartas electrónicas do tipo vectorial, elaboradas de acordo com as normas S57, em conformidade com o *ENC Product Specification*, produzidas e corrigidas sobre a responsabilidade de um serviço hidrográfico nacional podem ser consideradas CENO.

Por consequência, algumas cartas electrónicas actualmente distribuídas por companhias privadas (fora da responsabilidade de um serviço hidrográfico nacional) como sendo CENO não o são. Por outro lado, certos tipos de cartas electrónicas distribuídas sob responsabilidade dos serviços hidrográficos nacionais, não se encontram em conformidade com o conjunto de requisitos descritos acima e não podem ser compatíveis com as normas de funcionamento do ECDIS estabelecidos pela Organização Marítima Internacional (OMI).

5. Distribuição das CENO

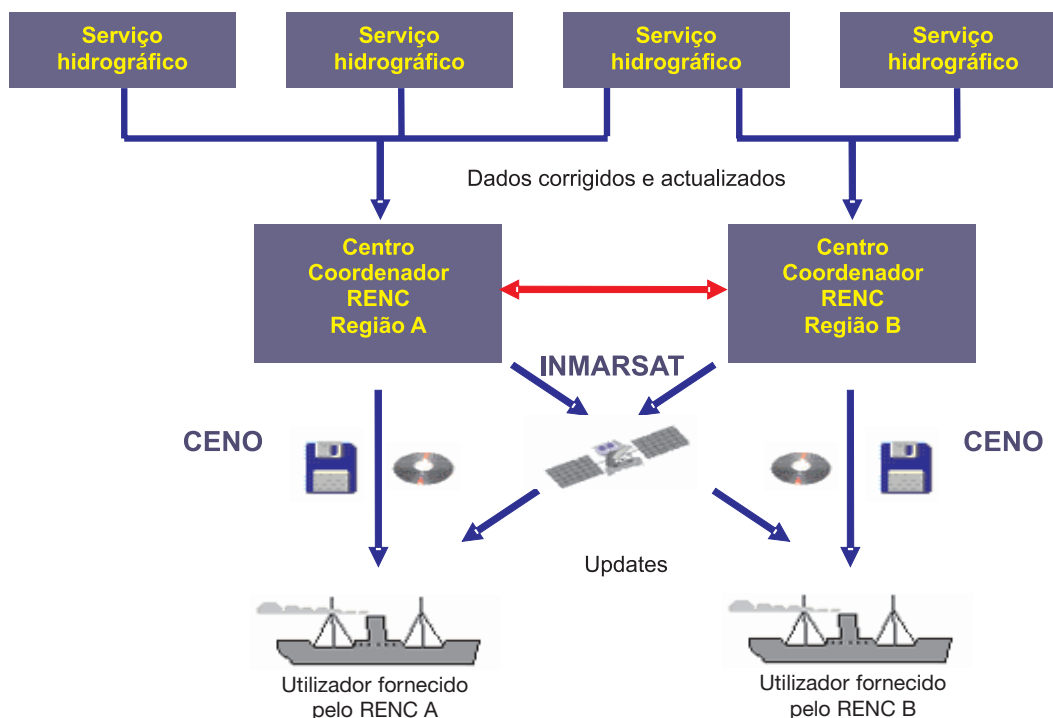
O primeiro obstáculo à entrada em serviço dos ECDIS e consequentemente das CENO, reside na produção de CENO em número e cobertura suficiente e adequada.

5.1. O esquema WEND

A criação de Centros Regionais de Coordenação e Distribuição de CENO, agrupando diversos países geograficamente relacionados, no sentido de otimizar meios humanos e técnicos por forma a garantir ao navegador um produto oficial de elevada qualidade, emerge de um grupo de trabalho que se enquadra no âmbito da OHI, designado por *Worldwide Electronic Navigational chart Database* (WEND) e tem como objectivo o estabelecimento de uma Base de Dados mundial de CENO de acordo com as necessidades da navegação internacional. Esta noção de base de dados mundial torna necessário efectuar uma clara distinção por um lado, das bases de dados nacionais constituídas e actualizadas por cada Estado Membro, e por outro lado, com a produção e difusão de bases de dados regionais, sob responsabilidade dos Centros Coordenadores de Carta Electrónica (RENC – *Regional Electronic Navigational chart coordinating Centre*).

A responsabilidade de elaboração de dados digitais (CENO e updates) está cometida a cada Estado dentro das suas águas de jurisdição.

Neste sentido, em Setembro de 1997 foi criado o Centro Coordenador Regional da Carta Electrónica – Norte da Europa (RENC-NE). Este Centro Coordenador foi uma organização de países europeus produtores de CENO e cujos representantes são os organismos produtores de informação hidrográfica oficial. Dele fizeram parte o Reino Unido, Portugal, Suécia, Finlândia, Dinamarca, Alemanha, Holanda, França, Polónia e Noruega. Em Janeiro de 1999, o RENC-NE adopta a designação comercial de PRIMAR, ficando sediado em *Stavanger* – Noruega, e operado em parceria pelo *United Kingdom Hydrographic Office* (UKHO) e pelo governo da Noruega



Princípio da difusão de dados de acordo com o esquema proposto pelo WEND

através do *Electronic Chart Centre (ECC)*. Durante um período de seis meses, esta organização desenvolveu toda uma série de ensaios dos canais de distribuição e do controlo da qualidade na transmissão dos dados. No dia 1 de Julho de 1999, aquele Centro de Coordenação Europeu da CENO, iniciou a sua actividade comercial oficialmente, com uma rede de distribuidores autorizados a nível mundial. Até ao final do ano de 2001, a organização europeia PRIMAR aumentou o número de países membros para 12, em virtude da adesão da Espanha e da Bélgica. Aumentou também o número de revendedores oficiais autorizados e aumentou em larga escala o número de células S57 disponíveis para a navegação marítima. No final do ano de 2001 mantém na sua Base de Dados o equivalente a metade da totalidade de CENO produzidas no mundo.

Em Setembro de 2001, devido ao facto de as perspectivas iniciais em relação à comercialização de células S57 terem ficado muito aquém das expectativas, foi elaborada pelos operadores do PRIMAR e divulgada pela OHI, uma comunicado referindo que após três anos de experiência, a cooperação necessita de ajustamentos. Após algumas conversações infrutíferas com todos os países membros, foram desenvolvidas e apresentadas duas propostas para a criação de dois centros coordenadores regionais. Um liderado pelo UKHO e designado *International Centre for ENC (IC-ENC)*, e o outro liderado pelo governo norueguês e que continuaria a trabalhar com todas as infraestruturas da organização PRIMAR e designado por *PRIMAR-STAVANGER*.

5.2. IC-ENC

Para a comercialização e distribuição das suas CENO, o IH trabalha com o centro regional de coordenação para as cartas electrónicas sediado em Inglaterra e que opera o IC-ENC. Este centro comercializa e distribui CENO produzidas pelos serviços hidrográficos dos seguintes países: Portugal, Espanha, Alemanha, Inglaterra, Holanda, Bélgica, Grécia, África do Sul e Índia.

Em conjunto, as CENO disponíveis num determinado momento são encriptadas, distribuídas e colocadas à disposição dos utilizadores finais através de uma licença anual ou semestral. O serviço hidrográfico fornecedor das CENO é integralmente responsável pela qualidade das CENO e pelas suas actualizações.

6. WECDIS e AML

Há mais de cinco anos a NATO iniciou o desenvolvimento e a troca de ideias para tornar a navegação mais segura, as acções de manutenção de paz mais eficazes e a consequente intervenção em conflitos armados mais objectiva, através do fornecimento de informação adicional. O problema que se colocava naquela altura era que, adicionalmente aos dados necessários para a navegação, existiam no mercado uma série de cartas ou produtos específicos para satisfazer este ou aquele fim. Em termos práticos, o seu resultado era que a mesma informação se encontrava publicada várias vezes por vários editores, destinada a preencher as necessidades dos diferentes utilizadores. Para além do trabalho

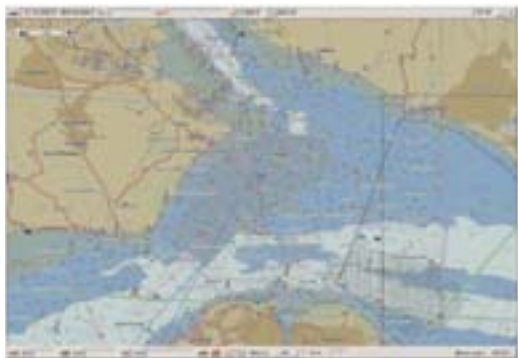
redundante que este facto provocava, existia sempre o perigo de mal entendidos e erros quando uma camada de informação concebida para um determinado objectivo ou para um determinado grupo era utilizada por membros de outro grupo. Dá-se então início ao desenvolvimento do conceito de *Warship Electronic Chart Display and Information System* (WECDIS).

O conceito do Warship ECDIS é baseado nas funcionalidades já existentes para o aumento da segurança da navegação nos ECDIS, combinando-as com informação digital adicional, de carácter militar ou não, aumentando desta forma o quadro operacional dos Comandos. De acordo com as publicações NATO, vulgarmente designadas STANAG (*Standard Agreement*), um WECDIS significa um ECDIS tal como foi definido pela Organização Marítima Internacional (OMI), com funcionalidades adicionais para navegação e condução de operações militares a bordo dos navios de guerra. Independentemente da decisão final sobre o que poderá vir a ser um WECDIS, a utilização de *Additional Military Layers* (AML) é já um dado adquirido e inquestionável. Os AML são uma iniciativa da NATO, coordenados e desenvolvidos pelo UKHO.

O objectivo dos AML é a capacidade de fornecer um conjunto de dados geoespaciais integrados para serem utilizados de uma forma modular. Estes dados geoespaciais podem ser visualizados como uma camada adicional sobre uma carta electrónica (*raster* ou *vector*) ou podem ser processados pelos próprios sistemas.

Até à presente data encontram-se aprovados e prontos a serem utilizados, seis tipos de produtos específicos da seguinte forma:

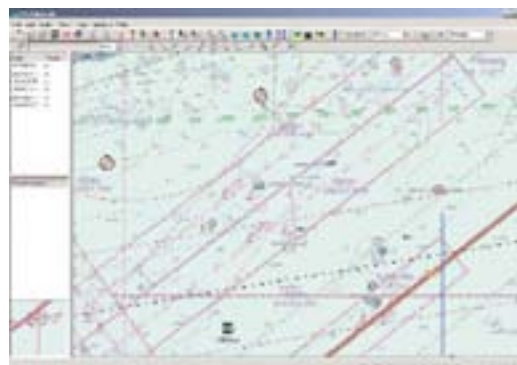
- **CLB** – *Contour Line Bathymetry* – permite fornecer informação adicional sobre profundidades;
- **ESB** – *Environment Seabed and Beach* – permite fornecer informação adicional sobre natureza do fundo, espessura e natureza de sedimentos para utilização em operações anfíbias e guerra de minas (ver figura seguinte);



- **LBO** – *Large Bottom Objects* – permite fornecer informação adicional sobre todas as obstruções conhecidas cujas dimensões comprimento, largura ou altura sejam superiores a 5 metros, tais como navios naufragados e obstruções, por forma a

tornar possível a sua utilização em operações com submarinos;

- **MF** – *Marine Foundation and Facilities* – permite fornecer informação adicional sobre linha de costa, limites terrestres e marítimos, ajudas à navegação mais importantes e informação táctica de natureza diversa;
- **RAL** – *Routes, Areas and Limits* – permite fornecer informação adicional sobre áreas de exercícios, corredores de tráfego, áreas para patrulha e informação aeronáutica seleccionada com o objectivo de conduzir operações marítimas ou alternativamente efectuar gestão de áreas marítimas (ver figura seguinte);



- **SBO** – *Small Bottom Objects* – permite fornecer informação adicional sobre todas as obstruções conhecidas cujas dimensões comprimento, largura ou altura sejam inferiores a 5 metros com possível utilização em guerra de minas.

Todos estes produtos possuem já anexos para poderem vir a ser integrados no S57, embora a especificação CLB (*Contour Line Bathymetry*) já possua um anexo para o DIGEST (*Vector Product Format, VPF*). O DIGEST é a abreviatura de uma publicação da NATO e que significa *Digital Geographic Information Exchange Standard*. O trabalho para integrar os restantes anexos no DIGEST está em desenvolvimento.

Em virtude do considerável interesse por parte da NATO no desenvolvimento de climatologia meteorológica como um AML, existem algumas parcerias, tais como com a *United States Naval Oceanographic Office*, Ministério da Defesa Inglês e o Instituto de Meteorologia Inglês no sentido de preparar especificações para a próxima geração de produtos oceanográficos da NATO. Assim, encontram-se em fase final de preparação e quase prontos para avaliação e aprovação mais dois tipos de AML, respectivamente:

- **IWC** – *Integrated Water Column* – permitirá fornecer informação adicional sobre as características físicas da coluna de água, tais como temperatura, salinidade, condutividade, velocidade de propagação do som, bem como de correntes oceânicas e climatologia;

■ **AMC** – *Atmospheric and Meteorological Climatology* – permitirá fornecer informação adicional sobre intensidade e direcção do vento, temperatura do ar, pressão atmosférica por forma a reflectir as variações meteorológicas;

A simbologia básica dos AML foi lançada em 20 de Setembro de 2002 pelo UKHO, mas a simbologia completa e definitiva ainda não se encontra totalmente disponível. As especificações do produto AML encontram-se no STANAG 4564 (WECDIS). Até ao momento, o conceito AML é restrito à informação marítima, incluindo informação aeronáutica para condução de operações marítimas e informação básica de terra.

Desde 2003 que estão a ser efectuadas provas à utilização diversa dos AML, sendo a intenção inicial que estes testes utilizem uma combinação dos actuais ECDIS e dos actuais sistemas de comando e controlo, actualizados, por forma a conseguirem ler os produtos AML. No entanto, existem algumas incertezas e alguns problemas na visualização destes AML em conjunto com as CENO, bem como algumas limitações na utilização dos sistemas de comando e controlo.

7. Conclusão

Vários têm sido os esforços para aumentar a segurança da navegação reduzindo substancialmente os acidentes marítimos e consequentemente os prejuízos por eles provocados.

Estudos efectuados indicam que a utilização de CENO pode reduzir até 40% a ocorrência de acidentes marítimos e contribuir assim para evitar danos gravosos para o meio ambiente, bem como para a redução dos prémios de seguro dos armadores.

As organizações hidrográficas governamentais reconheceram muito rapidamente o interesse da CENO como meio de tornar a navegação marítima mais segura e mais eficaz, tendo-se empenhado fortemente no seu desenvolvimento. As companhias de SIG e ECDIS de todo o mundo estão continuamente a desenvolver *software* e *hardware* para proporcionar às Organizações Hidrográficas e aos utilizadores da informação, nomeadamente os navegantes, ferramentas para construir e visualizar os dados respeitando as especificações S-57.

A promoção do desenvolvimento do conceito de um ECDIS justifica-se pelas características particulares da navegação marítima e pela diversidade das necessidades que permite satisfazer.

A NATO iniciou projectos para tornar a navegação mais segura, combinando as funcionalidades já existentes para o aumento da segurança da navegação nos ECDIS com informação digital adicional, de carácter militar ou não. Reconhecendo as vantagens deste produto, foram desenvolvidos os AML que podem ser

visualizados como uma camada adicional sobre uma carta electrónica (*raster* ou *vector*) ou podem ser processados pelo sistema.

A cobertura total da costa de Portugal por CENO é imprescindível não só para a navegação nacional mas também para as companhias de navegação internacionais que operam os seus navios nas rotas de/para o Norte da Europa bem como do Mediterrâneo. O IH, fruto do enorme empenho, da experiência e conhecimentos adquiridos pelos seus técnicos na produção, controlo da qualidade e validação das CENO, prevê continuar a produção das CENO de acordo com o seu plano estratégico, bem como manter todas as células já produzidas corrigidas e com a sua informação actualizada.

Bibliografia

- DAWSON, J. «Digital Charting, Now and in the Future». *The Journal of Navigation*, Cambridge University Press, Vol. 50, No. 2, pp. 251-255, May 1997.
- DONDERI, D., MERCER, R., HONG, M. AND SKINNER, D. (2004). «Simulated Navigation Performance with Marine Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS)». *The Journal of Navigation*, Vol. 57, pp. 189-202, May 1997.
- GARGIULO, R. E LAPIRA, R. «La Carta Electronica». *Rivista Marittima*, Novembre 1999.
- HAMMER, J. *The Electronic Chart*. Defense Mapping agency Hydrographic/Topographic Center.
- I.H.O. (1996) *IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data*. Edition 3.1, Novembro 2000, International Hydrographic Bureau, Monaco.
- JULIÃO, H. «O Fólio CENO». *Boletim Informativo Hidromar*, No. 56, 2.ª Série, p. 4, Outubro 2000.
- LANZINER, H. and MICHELSON, D. «Application of Electronic Charts in the Prevention of Ship's Groundings». *The Fourth Biennial National Ocean Service, Special Publication* No. 25, May 1-4 1990, Norfolk, Virginia, USA.
- PAIS, L. «Novas Tecnologias em Navegação – a CENO». *Boletim Informativo Hidromar*, No. 47, 2.ª Série, p. 4, Janeiro 2000.
- PAIS, L. «Porto de Lisboa com cobertura CENO». *Boletim Informativo Hidromar*, No. 48, 2.ª Série, p. 1, Fevereiro 2000.
- PINHEIRO, A. e MONTEIRO, N. (2002). «Cartas Electrónicas de Navegação Oficiais – Sua produção e utilização no séc. XXI».
- HECHT, H. *The future of ECDIS*. Hydro International, Julho/Agosto 2004.
- HECHT, H., BERKING, B., BUTTGENBACH, G., JONAS, M., ALEXANDER, L. (2002). *The Electronic Chart*, Dezembro 2002.
- Recommended ENC Validation Checks, Edition 2.0*, International Hydrographic Bureau, Monaco, October 2003
- ENCAnalyser User's Guide. HSA Systems Pty Lda, Sydney, Australia e SevenCs, AG & Co. KG, Hamburg, Germany, May 2004.*
- ENCDesignerr User's Guide. SevenCs,AG & Co. KG, Hamburg, Germany, April 2004.*
- Hydrographic Object Manager Reference Guide*, Universal Systems Limited, Fredericton, New Brunswick, Canada, 2004.
- Open ECDIS Forum* (<http://www.openecd.org>).

Os Laboratórios de Estado e a actual política I&D

Raquel Poucochinho, SEGUNDO-TENENTE

Resumo A relevância que os conhecimentos científicos e tecnológicos assumem nos nossos dias decorre em boa parte das transformações que acompanham um longo processo de desenvolvimento na sociedade. A democratização do ensino e o crescente interesse do público em geral pelo conhecimento científico serviram de catalizador *do progresso científico*. A influência da tecnologia no quotidiano é, pois, simultaneamente uma consequência e uma causa do estágio de desenvolvimento das sociedades modernas.

O reforço das instituições de investigação científica e tecnológica tem sido tónica do discurso político na última década e surge como condição necessária para vencer o atraso científico, expandir a produção científica, o desenvolvimento tecnológico e a inovação.

A figura de Laboratório do Estado foi assente pelo XIII Governo Constitucional como uma instituição pública de investigação, criada e mantida com o propósito explícito de prosseguir objectivos da política científica e tecnológica adoptada pelo Governo. Por definição, os Laboratórios do Estado são instituições científicas que reúnem uma gama variada de actividades científicas e técnicas de I&D.

O sector público, apesar de ser o maior investidor nesta área, não atingiu ainda os objectivos estabelecidos para o desafio europeu da cultura e inovação científica enquanto factor chave da competitividade. Para vencer o atraso estrutural e para conseguir um salto qualitativo com reforço da coesão social, é necessário conjugar esforços e articular políticas através de um programa integrado de apoio à educação/cultura científica e à investigação/inovação científica.

A investigação científica constitui a verdadeira chave do progresso dum país pois precede qualquer outro tipo de ocupação permanente e rentável. O crescimento económico assenta fundamentalmente nas modificações inovadoras introduzidas no sistema produtivo. O funcionamento eficaz do sistema científico e tecnológico (SCT) aparece, deste modo, como um factor crucial do bem-estar e das perspectivas futuras das sociedades contemporâneas.

Abstract *In today's society information is one of the most precious assets as it produces knowledge and wealth.*

The role of the public sector as an investor and active player in the process of acquiring, processing and validating data to information and knowledge is being discussed in various levels.

Public Laboratories have been re-examined under new public directives to answer the challenge of the 3rd Way Society.

A Ciência em Portugal

Ao longo dos séculos XVII e XVIII, criaram-se em quase todos os países da Europa academias científicas que pretendiam impulsionar a investigação e divulgar e promover a aplicação de novos conhecimentos científicos e técnicos¹. As academias permitiam o contacto directo entre cientistas e promoviam o progresso das ciências através da apresentação e publicação de Anais, memórias, actas e jornais científicos. Normalmente, também criavam bibliotecas, laborató-

rios e observatórios, instituíam prémios para trabalhos de investigação e apoiavam financeiramente alguns cientistas nos seus trabalhos.

Em Portugal, a Ciência atingiu o seu ponto alto durante os séculos XV e XVI – a era dos Descobrimentos – particularmente nos domínios da astronomia, biologia, cartografia, cosmografia, geografia, matemática, ciência farmacêutica e ciências náuticas. A esta fase seguiu-se, no entanto, um declínio que se prolongou até meados do século XVIII, embora se registem algumas iniciativas no campo das Letras².

¹ Podem apontar-se, a título de exemplo, a Academia dei Lincei, em Florença, fundada em 1603, a Academia del Cimento, em Florença, criada em 1657, a Royal Society de Londres, criada em 1660, a Académie des Sciences de Paris, criada em 1666, e a Academia das Ciências de Berlim, criada em 1700.

² Apontem-se como exemplos a Academia dos Generosos, entre 1647 e 1667, a Academia Portuguesa, fundada pelo 4^o Conde de Ericeira em 1717, e a Academia Real da História Portuguesa, fundada em 1720. A Academia das Ciências de Lisboa foi criada a 24 de Dezembro de 1779 com a aprovação régia dos seus primeiros estatutos.

O reflorescimento da Ciência em Portugal teve início com a reforma da Universidade de Coimbra, levada a cabo pelo Marquês de Pombal (1772), e com a fundação da Academia Real das Ciências pela rainha D. Maria I (24 de Dezembro de 1779). A esta última foi reconhecida utilidade pública (13 de Maio de 1783) beneficiando de protecção régia e usufruindo de vários privilégios, tais como o da concessão de livre acesso dos académicos aos arquivos do reino, as obras académicas deixarem de estar sujeitas a censura e a permissão de os livros impressos pela Academia poderem ser transportados livremente para qualquer parte do território. A designação de «Real» viria a desaparecer em 1910 com a implantação da República.

A criação da Academia correspondia a uma tentativa de incentivar o desenvolvimento científico e cultural do País, e de divulgar os conhecimentos científicos e técnicos de forma a que pudessem ser aplicados no desenvolvimento cultural e económico deste. Dentro do espírito utilitário característico do Iluminismo, pretendia-se, desta forma, contribuir para o progresso através da aplicação dos novos conhecimentos.

A revolução industrial veio mais tarde a demonstrar a utilidade da ciência aplicada na rentabilização dos meios, aumentando a capacidade de produção em massa, revelando um espaço de mercado aberto e competitivo, onde a inovação estimulava o poder criativo do inventor, o espírito inquiridor do cientista, e orientava a «mão invisível» do Estado.

Contudo, foi só a partir da Segunda Grande Guerra que os Estados começaram a interessar-se de forma visível pela empresa científica, e os governos passaram a apoiar directamente a investigação tanto fundamental como aplicada.

Este «novo» papel do Estado enquadra-se numa filosofia de intervenção activa (Estado Providência) onde os governos, democraticamente eleitos, assumem a responsabilidade de tratar directamente os assuntos de interesse geral/público. A consciencialização de que existem valores acima dos interesses económicos e individuais, impulsionou todo um movimento social que obrigou os Estados a investir em novas áreas como a saúde pública, o ensino, o ambiente, o saneamento básico, a defesa e a segurança.

Numa sociedade em que a ciência e a tecnologia assumem a posição incontestável de saber legítimo e produtor de verdade, afastando os dogmas e cosmogonias anteriores da magia e da religião, tornou-se progressivamente mais relevante que o cidadão comum possuísse conhecimentos básicos sobre o que o rodeava. Pela sua representação simbólica enquanto um saber independente, autónomo e neutral (axiológicamente), a ciência emerge, assim, como o parceiro ideal no processo de legitimação de decisões políticas.

Em 1986 Portugal adere à Comunidade Europeia. Aliando-se ao sonho de Jean Monnet, de uma Europa

unida e solidária, de progresso material e cultural, vocacionada para um mundo em vias de globalização, Portugal enfrenta o desafio da modernização.

Investigação e Desenvolvimento (I&D)

A expressão Investigação e Desenvolvimento, bem como a respectiva sigla I&D, são hoje utilizadas para designar um vasto leque de actividades ligadas à investigação científica e tecnológica, bem como às suas aplicações: investigação fundamental, cuja finalidade é a aquisição de novos conhecimentos (matemáticas puras, da física teórica e da cosmologia); investigação aplicada, cuja finalidade é o estudo das consequências das leis científicas conhecidas, com vista ao aparecimento de novos fenómenos, susceptíveis de obter aplicações técnico-científicas (ciências da natureza), e a investigação para o desenvolvimento, que visa a obtenção de novos produtos, com finalidades determinadas e propriedades específicas (investigação industrial). Para além da que é realizada no campo das ciências exactas ou da tecnologia, a actividade de I&D é também muito fecunda no campo das ciências humanas. A economia, a sociologia e as ciências da informação são disso exemplos típicos.

Como resultado da actividade de I&D podemos apontar o processo de crescimento económico que, nos últimos duzentos anos, tornou os países ocidentais mais ricos e poderosos que o resto do mundo. Entre meados do séc. XVIII e o presente, o rendimento *per capita* nestes países aumentou dez vezes, e a esperança de vida à nascença duplicou.

Em Portugal, a actividade de I&D encontra-se distribuída por quatro principais áreas institucionais:

- O sector público, constituído pelos organismos públicos de investigação ou Laboratórios do Estado, tais como o Laboratório Nacional de Engenharia Civil e o Instituto Hidrográfico;
- O sector do Ensino Superior, que integra as equipas de I&D das Universidades e Institutos Politécnicos;
- As Instituições Privadas sem Fins Lucrativos (IPSFL), tais como o Instituto Gulbenkian da Ciência e o Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores;
- O sector industrial, constituído pelos laboratórios e centros de investigação das empresas públicas e privadas, nacionais e estrangeiras.

Em matéria de I&D, Portugal é ainda, no contexto dos estados europeus, um pequeno país. Não só em termos absolutos, ou seja, em termos de produção cien-

tífica e tecnológica brutas, mas sobretudo em termos relativos à sua dimensão.

Os dois principais indicadores normalmente utilizados para avaliar o grau de desenvolvimento de um sistema científico e tecnológico, que são a percentagem do PIB destinada à I&D e a percentagem da população activa afecta à actividade de I&D, têm vindo a crescer na última década, porém tal não permitiu ainda que o nosso País se aproximasse dos padrões médios dos seus parceiros europeus.

Os Laboratórios de Estado e as Outras Actividades de Ciência e Tecnologia

Em 1997 deu-se um passo decisivo para a reforma e expansão do sistema científico e tecnológico nacional, através das avaliações dos grandes Laboratórios do Estado e das unidades de investigação reconhecidas e financiadas pelo Estado. Estas avaliações conduziram a diagnósticos objectivos que apontaram para a necessidade de reformas institucionais profundas nas estruturas públicas de I&D.

Neste âmbito, a resolução do Conselho de Ministros n.º 133/97 definiu um conjunto de orientações de reforço e valorização da actividade de investigação científica, o que resultou no lançamento de um programa da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) para apoio à reforma destas instituições através do financiamento de equipas de projecto, de modo a promover nos Laboratórios do Estado actividades de interesse público específicas, viabilizando a prossecução de investigação de interesse estratégico para Portugal, a renovação dos recursos humanos e a flexibilidade de gestão de projectos.

A FCT iniciou as suas actividades em Agosto de 1997 com a missão de promover continuamente o avanço do conhecimento científico e tecnológico em Portugal, explorando oportunidades, que se revelem em todos os domínios científicos e tecnológicos, de atingir os mais elevados padrões internacionais de criação de conhecimento, e estimular a sua difusão e contribuição para a melhoria da educação, da saúde e do ambiente, para a qualidade de vida e o bem-estar da população.

Esta missão concretiza-se principalmente através da concessão de financiamentos na sequência de avaliação de mérito de propostas de instituições, equipas de investigação e indivíduos apresentadas em concursos públicos, e também através de acordos de cooperação e outras formas de apoio em parceria com universidades e outras instituições públicas e privadas. Os resultados da actividade da FCT são, em última análise, as contribuições acrescidas dos indivíduos, grupos de investigação e

instituições contemplados na sua carteira de financiamentos³.

A figura de Laboratório do Estado surge no panorama nacional como uma instituição pública de investigação, criada e mantida com o propósito explícito de prosseguir objectivos da política científica e tecnológica adoptada pelo Governo. As suas actividades centram-se na investigação científica e desenvolvimento tecnológico, mas também na prossecução de outras actividades científicas e técnicas tais como a prestação de serviços, o apoio à indústria, as peritagens, a normalização, a certificação, a regulamentação, e a realização de testes laboratoriais.

As razões porque, em instituições científicas como os Laboratórios do Estado, se associam actividades de diferente natureza, residem na percepção consensual de que a articulação entre as actividades de I&D com Outras Actividades de Ciência e Tecnologia (OACT) é necessária e potenciadora da excelência, dos níveis de qualidade e de competência. O equilíbrio entre as actividades de I&D e as OACT, concretizado na prática, em cada Laboratório do Estado, resulta das missões e objectivos que lhes estão atribuídos pelas tutelas, mas resulta também das estratégias de desenvolvimento seguidas por cada instituição ao longo da sua história.

Na realidade, a situação mais comum em qualquer tipo de instituição científica, é o desenvolvimento das actividades de I&D em contextos organizacionais mistos, isto é, em instituições com pluralidade de missões e objectivos: assim, é nas universidades, onde as actividades de I&D se desenvolvem em articulação e complementaridade com as actividades de ensino; nos hospitais, onde as actividades de I&D se desenvolvem em simultâneo ou complementaridade com os cuidados de saúde; nas empresas, onde as actividades de I&D são complementares ou articuladas com as actividades produtivas ou de concepção. Também nos Laboratórios do Estado, além das actividades de I&D, se cumprem

³ A FCT mantém três linhas programáticas principais de reforço das instituições de investigação científica e tecnológica que assentam em exigentes sistemas de avaliação internacional independente:

- O Programa de Financiamento Plurianual de Unidades de I&D;
- A Criação de Laboratórios Associados;
- O Programa de Apoio à Reforma dos Laboratórios do Estado.

O Programa de Apoio à Reforma dos Laboratórios do Estado (FCT) foi criado para apoiar a concretização das orientações definidas na Resolução n.º 133/97 do Conselho de Ministros e das recomendações dos relatórios da avaliação, nomeadamente no que toca a: orientação para missões específicas de interesse público; rejuvenescimento dos recursos humanos de investigação; organização em torno de equipas de projecto lideradas por um Investigador Responsável acrescida autonomia e flexibilidade de gestão das equipas de projecto sob a responsabilidade do correspondente; gestão por objectivos.

missões delegadas pelo próprio Estado, suprimindo necessidades técnico-económicas sectoriais que se consideram essenciais para o País.

São, assim, raros os contextos em que as actividades de I&D não se articulam com outras actividades, sobretudo porque se reconhece que a articulação da I&D com actividades de diferente natureza pode potenciar os resultados, a produtividade, a aplicabilidade, a recolha e acumulação de informação e conhecimento, e a economia de meios.

Esta situação não facilita a inventariação separada dos recursos humanos e financeiros afectos a actividades de I&D e a OACT; contudo essa inventariação é essencial para a análise da actividade efectivamente desempenhada, e para o apuramento dos recursos humanos e materiais afectos. Tanto mais difícil, quanto as actividades de I&D se desenvolvam em simultâneo com outras actividades, como é muitas vezes o caso de testes de rotina, análises ou recolha sistemática de informação, que servem simultaneamente o diagnóstico e tratamento de problemas e a análise e produção de conhecimento.

Esta dificuldade não deverá constituir um entrave à inventariação dos recursos e à determinação do esforço nacional para actividades de I&D. A identificação das actividades de I&D e dos recursos mobilizados deve antes ser objecto de convenção entre os diferentes actores e agentes neste processo, garantindo-se que os conceitos e a sua operacionalização constituam uma base de referência comum.⁴

Em 2001, o 3.º Relatório do Comité Internacional de Acompanhamento, datado de 7 Março, veio reiterar que a Política para os Laboratórios de Estado dever-se-á sustentar em 3 pilares: interactividade, complementaridade e aceleração na transferência de conhecimento.

O enquadramento legislativo das instituições de investigação científica e tecnológica ficou definido pela primeira vez no que se intitulou de Regime Jurídico das Instituições de Investigação (Decreto-Lei 125/99 de Abril de 1999).

Além de estabelecer o conceito de instituição de investigação científica e tecnológica e de especificar as suas formas de organização interna e os princípios que devem reger o seu funcionamento, este diploma veio estabelecer um regime especial para a contratação de recursos humanos e para a aquisição de bens e serviços. Esta solução preconizava dotar as instituições públicas de investigação de maior flexibilidade administrativa.

O legislador também veio consagrar o acompanhamento e avaliação científica, técnica e financeira regular e independente dos Laboratórios de Estado, vinculando-os a objectivos de difusão da cultura científica e tecnol

ógica, de garantia da optimização dos recursos humanos e materiais que lhes estejam cometidos e da promoção da formação dos recursos humanos e cooperação interinstitucional.

O Regime Jurídico das Instituições de Investigação faz parte de um pacote legislativo promulgado em Abril de 1999 que incluiu outros dois importantes diplomas para a reforma e o reforço das instituições de investigação científica e tecnológica que reformularam profundamente a legislação anterior: o Estatuto do Bolseiro de Investigação Científica e o Estatuto da Carreira de Investigação Científica (Dec-Lei n.º 123/99 revogado pela Lei n.º 40/2004, de 18 de Agosto, e Dec-Lei n.º 124/99 de Abril de 1999).

Em 2002, através da Resolução n.º 36/2002, o Conselho de Ministros identificou nominalmente os Laboratórios do Estado existentes à data em Portugal:

- Instituto das Pescas e do Mar (IPIMAR)
- Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT)
- Instituto Geológico e Mineiro (IGM)
- Instituto Hidrográfico (IH)
- Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI)
- Instituto Nacional de Investigação Agrária (INIA)
- Instituto Nacional de Saúde Ricardo Jorge (INSA)
- Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN)
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)
- Instituto de Genética Médica Jacinto Magalhães (IGMJM)
- Instituto de Meteorologia (IM)
- Laboratório Nacional de Investigação Veterinária (LNIV)
- Direcção-Geral de Protecção das Culturas.

As tendências actuais da abordagem dos Laboratórios de Estado, numa perspectiva globalizante, referem-se essencialmente à:

- a) Reformulação das actividades dos laboratórios em função das necessidades dos Estados (e, numa transposição de escala, do Espaço Europeu);
- b) Adopção da política do *new public management* – aplicação de critérios de gestão pública aos Laboratórios de Estado;

Os Laboratórios do Estado são hoje formalmente consultados pelo Governo, sobre a definição dos programas e instrumentos da política científica e tecnológica nacional, e integram as estruturas de coordenação da política científica e tecnológica prevista na lei.

Ciência e tecnologia como política pública

O capítulo *Ciência e Tecnologia* do actual Programa do Governo sublinha a necessidade de reforçar as insti-

⁴ O mesmo tipo de convenção foi já estabelecida internacionalmente, por exemplo, no que respeita à contagem do tempo de trabalho dedicado a actividades de I&D pelos docentes do ensino superior, tendo-se consignado 50%

tuições científicas e valorizar a actividade de investigação científica, nomeadamente *reformando a actual matriz dos Laboratórios de Estado (...) em condições de maior eficiência, identificação e ligação aos utilizadores, concentração e actualização das missões de investigação, certificação e difusão científicas e tecnológicas, rejuvenescendo os seus quadros onde necessário e dotando esses organismos de órgãos de avaliação e acompanhamento eficazes.*

Embora não tenha perdido a sua validade, o conceito de Laboratório de Estado necessita de maior e mais clara definição, especificando o seu papel na eliminação dos obstáculos entre as suas actividades e as necessidades concretas da economia portuguesa. Uma vez especificados o lugar e a missão dos Laboratórios do Estado, seria de considerar alguns reajustamentos das interfaces entre estes laboratórios, com vista a uma definição mais clara do trabalho de cada laboratório, evitando igualmente a duplicação de esforços e fomentando novas inter-relações entre os vários laboratórios.

Razões de ordem estrutural e cultural particularmente difíceis de ultrapassar estão na base do atraso relativo que é evidenciado de forma inequívoca pelos dados apresentados. De entre as razões de ordem estrutural que têm sido invocadas por avaliadores europeus⁵, são de destacar as seguintes:

- No sector público, o envelhecimento acentuado da população de investigadores (em resultado da política governamental de congelamento do recrutamento de pessoal), a estagnação ou redução do financiamento do Estado, a falta de objectivos claros e de uma gestão efectiva das instituições, e a pequena relevância dos contactos com outros sectores da sociedade, nomeadamente com o sector industrial e com o ensino;
- No sector industrial, a falta de potencial de I&D e a existência de uma estrutura produtiva caracterizada por um grande número de pequenas e médias empresas, polarizadas em produções de baixa intensidade tecnológica e recurso intensivo à mão de obra;
- Um peso excessivo do sector universitário de I&D, ele próprio fortemente orientado para os aspectos teóricos da investigação e pouco motivado para os contactos com a indústria.

Existem razões históricas para a não existência de indústrias com forte componente de I&D no nosso País as quais, por seu lado, seriam pólos dinamizadores das outras áreas institucionais. A grande carência de recursos humanos com formação adequada é provavelmente o maior entrave ao progresso neste sector.

O entendimento da produção científica que deriva

dos Laboratórios de Estado no nosso País, tomada enquanto plataforma de coordenação e difusão de dados técnico-científicos, é uma mais valia para a eficiente inclusão de Portugal no circuito de coordenação regional da C&T.

A adopção de uma plataforma de mediação entre uma política europeia⁶ e as políticas dos vários Estados membros, ultrapassa a simples abolição das fronteiras nacionais ao pretender:

- 1 – Assegurar a complementaridade das políticas e programas;
- 2 – Evitar a duplicação de esforços e promover o intercâmbio de recursos técnicos e humanos;
- 3 – Reforçar a contribuição da C&T para as políticas europeias, como expressão prática dos contributos da ciência para o incremento da qualidade de vida do cidadão;
- 4 – Potenciar capacidade de resposta para os actuais problemas da I&D.

A questão do investimento em *networkings* relacionadas com a C&T e a conceptualização de um novo esquema de ligação entre redes nacionais e regionais permanecem um desafio à coordenação das unidades de investigação. Estes objectivos serão tanto mais pertinentes quanto mais consubstanciados pelo investimento na difusão de dados científicos através da coordenação das várias redes informáticas.

Apesar da maior flexibilidade administrativa e financeira de que estes organismos dispõem, a dependência funcional e a tutela ministerial existente acabam por constituir alguns entraves, uma vez que as velocidades de execução são diferentes na periferia e nos centros de poder.

Óbidos 2004

No início deste de 2004, o Conselho de Ministros aprovou uma nova acção: a iniciativa Conhecimento e Inovação. Esta iniciativa tem por base o Conhecimento estratégico (a ciência como factor de qualificação, inovação e competitividade), e o Conhecimento estruturante (a Ciência como instrumento de modernização do Estado e da Sociedade). Com esta acção, o Governo de então, definiu as suas áreas prioritárias de intervenção:

- **A Inovação** – traduzida no apoio a projectos de I&D especializados em sectores estratégicos, visando transferir tecnologia para o sector empresarial, e em projectos de arranque rápido de grande impacto na captação de riqueza e na promoção da produtividade e da competitividade;

⁵ OCDE. Politiques Nationales de la Science et de la Technologie: Portugal – Porfie III: Rapport de Paris. 1992.

⁶ Tratado de Amesterdão (arts. 167.º/173.º), na Cimeira de Lisboa (2000) como na Cimeira de Estocolmo (2001).

- **A Sociedade da Informação e do Conhecimento** – investindo prioritariamente na formação avançada nas áreas das tecnologias de informação, no desenvolvimento de serviços, aplicações e conteúdos seguros, e nas acções mobilizadoras de qualificações e de introdução de novas tecnologias nas áreas da Cultura, da Educação, da Defesa, da Segurança e da Saúde;
- **A Modernização da Administração Pública** – apostando na formação e qualificação dos seus recursos humanos, na criação de estágios de longa duração de licenciados e doutorados, nos investimentos em acções no domínio da administração em rede, por forma a obter uma administração moderna, responsável e célere a servir o cidadão;
- **O Desenvolvimento da Ciência e da Formação no Ensino Superior** – intensificando o investimento na área da saúde e a formação avançada de investigadores e docentes, apoiando a sua inserção nas empresas e nas instituições de I&D, criando novos apoios ao estágio de alunos nas empresas e promovendo a criação de infra-estruturas científicas e do ensino superior.

Como Instrumentos de Acção, foram criados: o Programa Operacional Ciência e Inovação⁷; e o Programa Operacional Sociedade do Conhecimento⁸. A par desta iniciativa foi apresentada a intenção de conceder no período de 2004/2006, 12 mil Bolsas para Formação (7 mil bolsas para formação na Administração Pública, com especial destaque nas bolsas para estágios de longa duração por parte de licenciados e doutorados e bem assim para formação especializada de dirigentes; e 5 mil bolsas para mestrados, doutoramentos, pós-doutoramentos e ainda para a inserção de mestres e doutores nas empresas).

Outra medida adoptada nesta reunião realizada em Óbidos, foi a criação do quadro legal do Mecenato científico. Esta prioridade deriva da União Europeia que definiu o objectivo de, em 2010, os Países investirem cerca de 3% do PIB em investigação, sendo que dois terços devem ficar a cargo do sector privado e um terço afecto ao sector público.

Através da Lei n.º 26/2004, de 8 de Julho, é aprovado o Estatuto do Mecenato Científico. Este diploma concede benefícios fiscais a todos quantos, através de apoios em dinheiro ou em espécie, decidam investir em inovação e investigação. Os Mecenas – aos quais apro-

⁷ O seu objectivo é apoiar as medidas de estímulo à inovação, o financiamento dos projectos de arranque rápido, a promoção da divulgação científica e o apoio ao ensino superior. Disporá de 419 milhões de Euros.

⁸ Tem como objectivo apoiar a modernização da Administração Pública, a concretização da Iniciativa Estratégica Conhecimento e Inovação nas áreas da Sociedade da Informação, da Cultura, da Educação, da Defesa, da Segurança e da Saúde. Disporá de 634 milhões de Euros.

veitará o regime de benefícios fiscais – poderão ser pessoas singulares ou colectivas, de natureza pública ou privada. Os Beneficiários do Mecenato Científico serão as entidades que prossigam uma actividade científica, como tal reconhecida pelo Estado, designadamente institutos, fundações, associações, instituições de ensino superior, unidades de I&D e centros de investigação.

É de todo o interesse nacional complementar as actuais linhas de financiamento público da I&D (que incluem apoio a projectos de base disciplinar, bolsas, e infra-estruturas, para além do financiamento plurianual), com programas temáticos de natureza multidisciplinar, implementar programas coerentes que promovam actividades de investigação com ênfase em doutoramentos e pós-doutoramentos, com aplicação à realidade nacional. A implementação destes programas deverá estar naturalmente associada às grandes prioridades nacionais, nomeadamente com referência aos grandes investimentos públicos dos próximos anos, em áreas que incluem a promoção da sociedade de informação, as telecomunicações, os transportes e as vias de comunicação, e os riscos públicos, nomeadamente os sísmicos e de natureza ambiental e social.

É importante assinalar a natureza estruturante que este tipo de programas pode vir a ter, nomeadamente para favorecer a ligação da comunidade científica à sociedade civil.

Recursos

Actualmente, é provável que nenhum Laboratório do Estado tenha condições para afectar 100% do seu orçamento a actividades de I&D.

Em muitos sectores os Laboratórios do Estado constituem o principal recurso público em C&T ou são a única instituição científica de referência; acresce que as suas actividades de C&T não seriam possíveis sem as actividades de I&D conexas e vice-versa.

Em muitos casos são justamente as actividades de I&D que os Laboratórios do Estado desenvolvem que justificam a afectação de meios técnicos sofisticados, de recursos humanos com elevadas qualificações e de volumes significativos de recursos financeiros.

Com o objectivo de conferir coerência interna ao exercício de apuramento das Dotações Públicas para C&T e em simultâneo aperfeiçoar progressivamente os instrumentos de observação, o Observatório de Ciência e Tecnologia (OCT) propõe que seja estabelecida convenção quanto à existência de três grandes categorias de instituições científicas no que respeita ao equilíbrio de actividades de I&D e OACT, nas quais se agreguem os diferentes Laboratórios do Estado:

- 1) Os Laboratórios do Estado que mobilizam **até 50%** dos seus recursos totais para actividades de I&D, incluindo portanto os laboratórios nos

quais é maior o peso da prestação de serviços sectoriais e OACT:

- INETI (Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial);
- LNIV (Laboratório Nacional de Investigação Veterinária);
- IM (Instituto de Meteorologia);
- INSA (Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge);
- IGM (Instituto de Genética Médica).

2) Os Laboratórios do Estado que mobilizam **cerca de 70%** dos seus recursos para I&D:

- LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil);
- INIA (Instituto Nacional de Investigação Agrária);
- IGM (Instituto Geológico e Mineiro);
- IHMT (Instituto de Higiene e Medicina Tropical);
- ITQB (Instituto de Tecnologia Química e Biologia).

3) Os Laboratórios do Estado que pela natureza das suas actividades, pelos objectivos e missões a que estão obrigados canalizam a quase totalidade dos seus recursos (**90%**) para I&D:

- ITN (Instituto Tecnológico Nuclear);
- IICT (Instituto de Investigação Científica Tropical);
- CNIG (Centro Nacional de Informação Geográfica)⁹;
- IH (Instituto Hidrográfico);
- IPIMAR (Instituto de Investigação das Pescas e do Mar).

Em Portugal as despesas em I&D têm sido inferiores aos padrões europeus, não obstante, ao longo da década de 90, estas despesas terem vindo a crescer e, em termos relativos, bastante acima da média da União Europeia.

A carência em capital humano qualificado, a estrutura do sector industrial e as deficiências na gestão de I&D têm contribuído para que ainda não tenha sido alcançada a meta europeia.

Globalmente, a tendência nesta matéria é para uma aproximação de Portugal à média dos países da União Europeia e da OCDE que, por seu lado, ao longo da década de 90, se apresentam com taxas de crescimento muito baixas.

Apesar da evolução positiva que se regista no crescimento muito superior ao registado na UE, a distância de Portugal em relação à média destes países é ainda assinalável.

Importa sublinhar que as maiores distâncias às médias europeias se registam no sector Empresas, tanto no que respeita à capacidade de execução (recursos humanos e financeiros disponíveis), como de financiamento das actividades de I&D, pelo que é neste sector que se exige um maior esforço de recuperação.

O reforço da componente empresarial do investimento em I&D, cujo crescimento tem acompanhado o do investimento total, é objecto de programas e instrumentos específicos, dos quais se podem destacar:

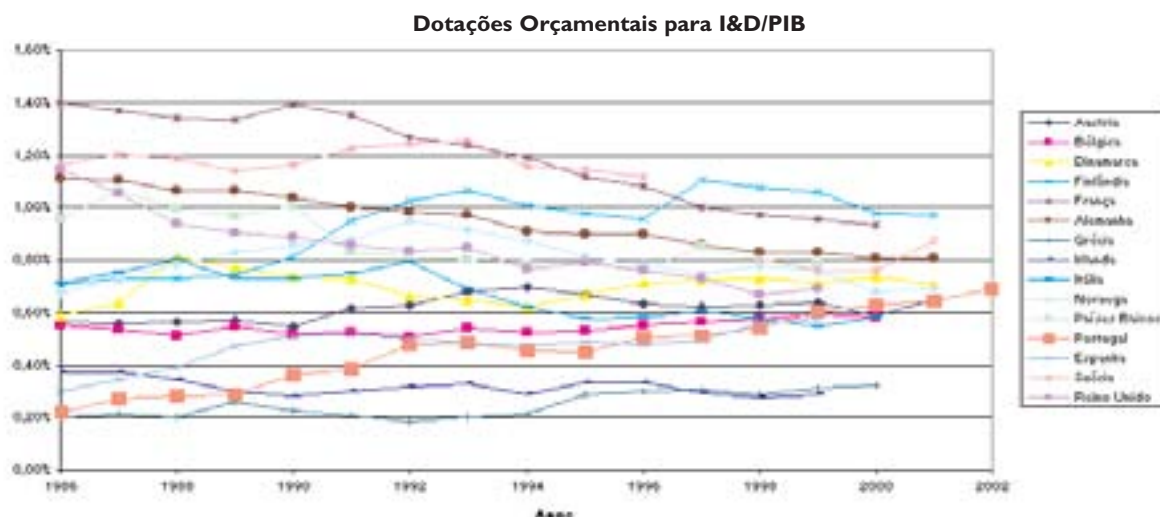
- o lançamento de programas de I&D em consórcio entre empresas e instituições de investigação;
- a revisão e ampliação do regime de incentivos fiscais à I&D empresarial, com aumento da percentagem da despesa de I&D dedutível e do tecto de valor da despesa elegível;
- a publicação de legislação incumbindo os

Dotações Orçamentais para I&D/PIB

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
AUSTRIA	0,57%	0,56%	0,56%	0,57%	0,55%	0,61%	0,63%	0,68%	0,70%	0,67%	0,63%	0,62%	0,63%	0,64%	0,58%	0,65%	
BÉLGICA	0,56%	0,54%	0,51%	0,55%	0,52%	0,52%	0,50%	0,54%	0,53%	0,53%	0,55%	0,56%	0,58%	0,59%	0,58%		
DINAMARCA	0,59%	0,64%	0,81%	0,77%	0,73%	0,73%	0,66%	0,65%	0,62%	0,67%	0,71%	0,72%	0,73%	0,72%	0,74%	0,71%	
FINLÂNDIA	0,71%	0,73%	0,73%	0,74%	0,81%	0,95%	1,03%	1,06%	1,01%	0,98%	0,95%	1,11%	1,08%	1,06%	0,98%	0,98%	
FRANÇA	1,40%	1,37%	1,34%	1,34%	1,40%	1,35%	1,26%	1,24%	1,19%	1,12%	1,08%	1,00%	0,97%	0,95%	0,93%		
ALEMANHA	1,11%	1,11%	1,06%	1,06%	1,04%	1,00%	0,99%	0,97%	0,91%	0,90%	0,90%	0,86%	0,83%	0,83%	0,81%	0,80%	
GRÉCIA	0,20%	0,21%	0,20%	0,26%	0,22%	0,21%	0,18%	0,20%	0,21%	0,29%	0,30%	0,30%	0,29%	0,31%	0,32%		
IRLANDA	0,37%	0,38%	0,34%	0,30%	0,28%	0,30%	0,31%	0,33%	0,29%	0,33%	0,33%	0,29%	0,28%	0,29%			
ITÁLIA	0,72%	0,75%	0,80%	0,73%	0,73%	0,75%	0,80%	0,69%	0,62%	0,58%	0,58%	0,61%	0,58%	0,55%	0,58%		
NORUEGA	0,67%	0,73%	0,78%	0,83%	0,86%	0,87%	0,95%	0,92%	0,87%	0,81%	0,78%	0,75%	0,78%	0,76%	0,68%	0,69%	
PAÍSES BAIXOS	0,96%	1,06%	1,00%	0,97%	1,01%	0,83%	0,82%	0,80%	0,78%	0,80%	0,76%	0,85%	0,80%	0,79%			
PORTUGAL	0,22%	0,27%	0,28%	0,29%	0,36%	0,39%	0,48%	0,48%	0,45%	0,45%	0,50%	0,51%	0,54%	0,60%	0,63%	0,64%	0,69%
ESPAÑA	0,30%	0,34%	0,39%	0,47%	0,51%	0,52%	0,50%	0,48%	0,47%	0,49%	0,48%	0,50%	0,56%	0,57%			
SUÉCIA	1,16%	1,20%	1,19%	1,14%	1,16%	1,23%	1,24%	1,25%	1,16%	1,14%	1,11%		0,81%	0,76%	0,76%	0,87%	
REINO UNIDO	1,14%	1,05%	0,94%	0,90%	0,89%	0,86%	0,83%	0,84%	0,77%	0,79%	0,76%	0,73%	0,67%	0,69%			

Fonte: OECD, MSTI database (STI, EAS Division), November 2001.
Para Portugal 2002, fonte: OCT.

⁹ Posterior IPCC e agora ao IGP.



Fonte: OECD, MSTI database (STI, EAS Division), November 2001.

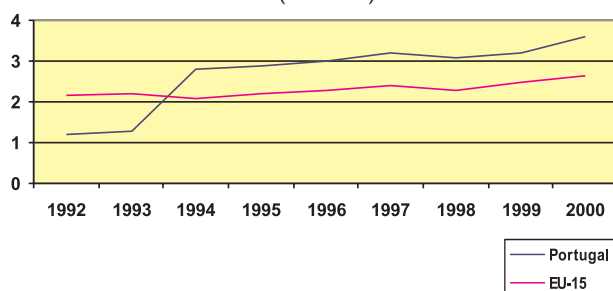
Para Portugal 2002, fonte: OCT.

representantes do Estado em empresas participadas por capitais públicos de promover o crescimento da afectação de recursos financeiros e humanos às actividades de I&D;

- a realização de iniciativas de demonstração de resultados de projectos de investigação em consórcio entre empresas e unidades de I&D, de modo a promover a visibilidade dos casos de sucesso e estimular a participação e a colaboração das empresas e das instituições de investigação.

Os novos meios de informação e comunicação poderão impulsionar o desenvolvimento das relações entre centros de pesquisa portugueses e europeus, constituindo assim uma importante oportunidade de superar os problemas de produtividade daquelas instituições e de promover a inovação em Portugal.

Tecnologias de Informação e Comunicação (% do PIB)



Fonte: Eurostat, Structural Indicators, 2002.

Na última década os importantes progressos realizados em Portugal foram registados no âmbito das Tecnologias de Informação e Comunicação. Os indicadores nacionais de Ciência e Tecnologia assinalaram, no geral, uma evolução positiva entre 1993 e 2000, com taxas de crescimento acima das conseguidas na União Europeia. Os maiores investimentos realizados nos anos

em análise centram-se na formação de recursos humanos e no «desenvolvimento de base do sistema de Ciência e Tecnologia».

Apesar desta evolução positiva, a distância de Portugal face à média dos países europeus continua a existir, nomeadamente no sector das empresas, onde se verificam as maiores divergências tanto no que respeita à capacidade de execução – recursos humanos e financeiros disponíveis –, como de financiamento das actividades de I&D.

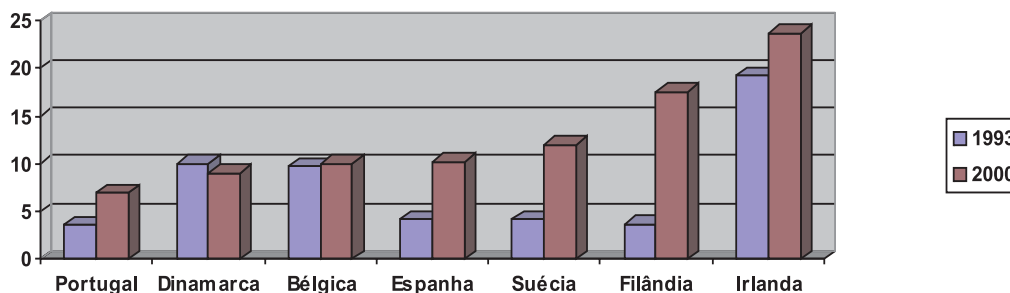
Portugal deixou-se atrasar na formação dos seus recursos humanos, e se por um lado há um baixo nível de educação da população em geral, por outro os próprios empresários e operários também têm um baixo nível de formação. A escassez de recursos humanos qualificados reflectia-se também no baixo número de investigadores. Tem-se vindo a recuperar de uma forma acelerada, mas ainda existe esse défice.

Os recursos humanos são uma componente essencial para o funcionamento dos Laboratórios do Estado. O rejuvenescimento dos meios humanos parece constituir uma necessidade premente, aproveitando-se a oportunidade para introduzir competências relevantes para a futura missão dos laboratórios. Revela-se necessário fomentar a mobilidade para a actividade económica e seria recomendável adoptar um sistema de prémios, destinado a estimular o cumprimento dos objectivos propostos.

A formação e a educação de futuros cientistas e técnicos, a divulgação e descodificação da ciência ou a organização e disponibilização da informação científica e técnica, são algumas das actividades que se podem também incluir no campo de actividades da Ciência e Tecnologia. Apesar dos progressos, o sistema de Ciência e Tecnologia apresenta ainda graves e persistentes debilidades, já que a percentagem da participação financeira das empresas (*investimento*) na I&D, a nível nacional, ronda um terço da média da União Europeia, e o

Número de licenciados nas áreas de Ciência e Tecnologia

(por 1000 habitantes com idades entre 20 e 29 anos)



Fonte: Eurostat, Structural Indicators, 2002.

número de investigadores a tempo integral, relativamente à população activa, é pouco mais de metade da média europeia.

Portugal concentrou o seu investimento em Tecnologias da Informação e Comunicação (*TIC's*) e na inovação ao nível dos produtos. Neste âmbito interessa referir as necessidades infra-estruturais em dois principais aspectos. Primeiro, a crescente importância de reforçar o apoio a bibliotecas, incluindo o acesso electrónico generalizado, que efectivamente é um aspecto particularmente limitativo da capacidade de investigação nacional. Segundo, o acesso rápido, generalizado e eficiente à Internet.

Conclusões

O Estado constitui o principal agente financiador das actividades de I&D, representando cerca de 70% da despesa total executada. No entanto, será difícil ao Estado manter o esforço de financiamento público que tem existido no sector de I&D, quando se verificar o término do período de injeção de fundos da União Europeia. É, pois, imprescindível um maior envolvimento do sector privado na investigação científica nacional, pois só com o envolvimento de privados e das empresas, o sistema nacional de Ciência e Tecnologia poderá manter o mesmo nível de actividade, a mesma qualidade e maior relevância social.

A adopção de novas políticas de gestão públicas dos Laboratórios, a sua crescente descentralização e autonomia, uma relação cada vez mais estreita com as universidades e indústrias, e a implementação de uma rede de dados científicos, apontam para a confluência de interesses das instituições de investigação, quer ao nível técnico, quer ao nível institucional.

A investigação científica constitui a chave do

progresso dum país. O progresso tecnológico aumenta o desenvolvimento potencial de uma economia, fomentando o crescimento da produtividade, sendo a inovação um factor chave da competitividade.

A competitividade e a produtividade dependem de múltiplos factores relativos não só às empresas mas a toda a organização social. O contexto actual está em mudança acelerada e profunda por força da globalização, da integração monetária e económica europeia e do alargamento, assim como da reorganização dos mercados de bens, serviços e capitais com base nas tecnologias de informação. Esta alteração de paradigma coloca desafios de grande dimensão, mas abre também uma janela de oportunidade única para recuperar do atraso.

Portugal tem vindo a construir as componentes básicas de um sistema de inovação crescentemente internacionalizado, com progressos relevantes em áreas como a do reforço da capacidade científica nacional, a difusão de novas tecnologias no tecido empresarial, a criação de infra-estruturas de interface, a organização de mercados financeiros e a utilização da internet. Tirando partido destes progressos, torna-se necessário impulsionar o trabalho em rede e em parceria e o funcionamento do nosso sistema de inovação de forma mais articulada e criativa, o que requer uma melhor coordenação, em particular das políticas públicas para a empresa, a ciência e a tecnologia, a sociedade da informação, a educação, a formação, as finanças e a reforma da Administração Pública.

É importante que se continue a intensificar a estratégia para o desenvolvimento de capacidades técnico-científicas com elevado grau de qualidade, que o Estado não deve alienar. Com efeito, tal constitui uma importante referência de independência e, existindo já capacidades de rentabilização através da realização em domínios em que o Serviço Público possui reconhecida excelência, este desafio dificilmente será assumido por qualquer entidade privada.

