



# ANAIS

## do Instituto Hidrográfico

NÚMERO 15 • 2001



# ANAIIS do Instituto Hidrográfico

N.º 15 • 2001



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:*

CFR Lopes da Costa  
Doutor José Biscaya  
CTEN Antunes Chumbinho  
Dr. Manuel Rocha  
Eng. Jorge da Silva  
Dr.<sup>a</sup> Maria Dolores  
1TEN Brandão Correia

Os artigos assinados são da responsabilidade dos autores

*Capa:* N.R.P. «D. Carlos I»

*Contracapa:* Instalações Navais da Azinheira,  
Instituto Hidrográfico, Seixal, vista panorâmica

© COPYRIGHT – Instituto Hidrográfico, 2002

Autorizada a transcrição  
quando acompanhada da indicação do autor e origem

*ISBN:* 972-8486-22-7

*Depósito legal:* 171895/01

PUB (G)-IH 247-DD

*Execução gráfica:* Instituto Hidrográfico

# ÍNDICE

- 4** **Nota de Abertura**
- 5** **Foreword**
- 7** **ECDIS e Warship ECDIS: a base da navegação do futuro**  
*Sardinha Monteiro* PRIMEIRO-TENENTE, ESPECIALIZADO EM NAVEGAÇÃO
- 17** **Sistemas de Informação no Instituto Hidrográfico**  
*Rogério Antunes Chumbinho* CAPITÃO-TENENTE
- 25** **Rapid Environmental Assessment (REA)**  
*Mesquita Onofre* PRIMEIRO-TENENTE
- 33** **Aplicação de um sistema de classificação dos petróleos à identificação de derrames no mar**  
*José Biscaya* INVESTIGADOR AUXILIAR
- 39** **A problemática da instalação de sistemas de grandes dimensões em navios adaptados**  
*Abílio Matias* CAPITÃO-TENENTE
- 45** **Projecto de assinalamento marítimo das áreas de protecção dos cabos submarinos da rede de fibra óptica dos Açores – Marconi**  
*Guilherme Adelino Figueiredo Marques Ferreira* CAPITÃO-TENENTE  
*Fernando José Abrantes Horta* CAPITÃO-TENENTE
- 53** **Geoquímica dos sedimentos na plataforma continental na zona compreendida entre os paralelos da Ericeira e da Figueira da Foz**  
*Maria Paula Mendes* ESTAGIÁRIA DA QUÍMICA E POLUIÇÃO  
*Carla Palma* TÉCNICO SUPERIOR DE 1.ª CLASSE
- 59** **Gestão e armazenamento de dados batimétricos**  
*Santos de Campos* PRIMEIRO-TENENTE
- 65** **Pre-processing and Post-processing of Model Wave Data in the Nearshore**  
*Eugen Rusu* PROFESSOR  
*Ventura Soares* CAPITÃO-TENENTE
- 75** **Rede DGPS (Differential GPS) Portuguesa**  
*Sardinha Monteiro* PRIMEIRO-TENENTE

# Nota de Abertura

**N**a anterior edição de 2000 dos **Anais do Instituto Hidrográfico**, por ocasião do 40.º aniversário da Instituição, foi retomada a publicação que havia tido um interregno, desde 1994, em virtude da conjugação da escassez de pessoal com uma intensa actividade.

Com a presente edição, de 2001, garantimos a continuidade anual desta publicação que serve o objectivo de divulgar os estudos e projectos que desenvolvemos no domínio das ciências do mar, com ênfase na hidrografia, oceanografia e navegação, decorrentes das atribuições enquanto laboratório do Estado e organismo da Marinha.

Neste exemplar é divulgado um conjunto de dez artigos que, embora correspondam a uma pequena parte da produção técnico-científica, abordam com qualidade temas de interesse como sejam: o projecto da rede GPS diferencial portuguesa; a tecnologia para uso das cartas electrónicas de navegação oficiais; os sistemas de informação geográfica e de gestão de dados batimétricos; a oceanografia em apoio de informação ambiental a operações navais; métodos laboratoriais de aplicação em controlo da poluição por hidrocarbonetos e preservação ambiental; o assinalamento das áreas de protecção a cabos submarinos; a modelação da propagação e rebentação da ondulação, em águas pouco profundas ou a instalação de transdutores de sondas multi-feixe em navios hidrográficos. São uma amostra que, de forma equilibrada, reflecte o leque das actividades, em conformidade com objectivos estratégicos – inserção na comunidade científica, elevação das qualificações do pessoal e sua motivação, adaptação à sociedade da informação e do conhecimento, entre outros – que perseguimos.

Os autores dos artigos e os membros da Comissão de Redacção dos Anais, em acumulação com as exigentes actividades técnico-científicas que desempenham no Instituto, com o seu esforço e dedicação, conseguiram, uma vez mais, produzir a edição anual da publicação, pelo que são merecedores do nosso apreço.

Os **Anais do Instituto Hidrográfico** continuam a ser um veículo apropriado para a transmissão, à comunidade científica, de actividades e conhecimentos de elevado interesse público e nacional, que se enquadram nas missões que, incumbidas à Marinha, são realizadas através do **Instituto Hidrográfico**.

O Director-Geral,



*Carlos António David Silva Cardoso*

Vice-almirante

# Foreword

**T**HE publication of the **Annals of the Hydrographic Institute** in 2000, on the occasion of its 40th anniversary, marks the revival of a work that had been interrupted in 1994 as a result of a combination of a shortage of staff and a great deal of activity.

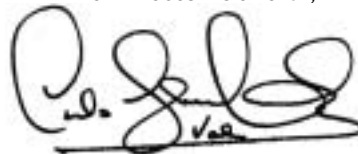
This present 2001 edition is designed to lend continuity to this annual publication, the purpose of which is to divulge studies and projects undertaken by the Institute in the field of the sciences of the sea, with a particular focus on hydrography, oceanography and navigation, stemming from its duties as a State laboratory and as a Naval organisation.

This edition provides ten articles, accounting for just a part of the technical and scientific output, that, with great quality, address matters of interest such as: the Portuguese differential GPS network; technology for the use of official electronic navigation charts; geographic information and bathymetric data management systems; oceanography in support of environmental information in naval operations; laboratory methods for application in the control of pollution by hydrocarbons and environmental preservation; marking underwater cable areas; modelling the propagation and breaking of waves in not very deep waters; or fitting multi-beam transducers to hydrographic ships. These provide a balanced sample of the range of activities undertaken in keeping with the strategic objectives that we pursue – involvement with the scientific community, increase of the qualifications and motivation of the personnel, and adaptation to the information and knowledge society.

The authors of the articles and the members of the Editors' Committee of the Annals, who accumulate this work with their demanding technical and scientific activity at the Institute, were able once again, as a result of their effort and dedication, to produce this annual edition of the publication and therefore warrant our heartfelt thanks.

The **Annals of the Hydrographic Institute** continue to be an appropriate vehicle for the transmission of activities and knowledge of considerable public and national interest to the scientific community, which fall within the scope of the missions that are entrusted to the Navy and are carried out through the **Hydrographic Institute**.

The Director General,



*Carlos António David Silva Cardoso*

Vice-Admiral

# ECDIS e Warship ECDIS: a base da navegação do futuro

Sardinha Monteiro

PRIMEIRO-TENENTE

**Resumo** As Cartas Electrónicas de Navegação e os equipamentos que permitem a sua leitura, os *Electronic Chart Display and Information Systems* (ECDIS), estão a emergir como uma ferramenta essencial para a moderna navegação marítima. Mais do que uma mera imagem digital das cartas de papel, as Cartas Electrónicas de Navegação combinam informação geográfica com informação textual de forma bastante atractiva para os navegantes, facilitando imenso as suas tarefas. Os ECDIS, além de permitirem uma performance muito mais versátil no planeamento e condução da navegação, também exponenciaram as possibilidades de integração de equipamentos de navegação, estando a constituir-se como o coração das modernas pontes integradas de navegação.

Em Novembro de 2000, o Comité de Segurança Marítima da Organização Marítima Internacional aprovou, finalmente, as emendas ao Capítulo V da Convenção *Safety Of Life At Sea* (SOLAS) que fazem equivaler as cartas electrónicas oficiais às tradicionais cartas de papel. Com esta revisão, que entra em vigor (por aprovação tácita) em 1 de Julho de 2002, as cartas que os navios são obrigados a possuir passam a poder ser cartas electrónicas oficiais, desde que lidas num ECDIS certificado.

A utilização dos ECDIS, com Cartas Electrónicas de Navegação, traduzir-se-á numa melhoria da segurança marítima e da segurança da navegação, reduzindo ao mesmo tempo a carga de trabalho exigida aos navegantes. Por tudo isso, pode-se dizer que a introdução dos ECDIS constituirá a maior revolução na navegação marítima desde o advento do radar.

**Abstract** *Electronic Navigational Charts, and the systems which read them* Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS), are emerging as an essential tool for modern maritime navigation. More than just a digital image of paper charts, Electronic Navigational Charts combine geographical data with textual information in a very attractive way for navigators, making their tasks much easier. ECDIS, besides allowing a very versatile performance in planning and conducting navigation, have also increased the possibilities of integrating navigation equipment and are, now, the heart of modern integrated bridge systems.

*In November 2000, the Maritime Safety Committee of the International Maritime Organization, approved, at last, the amendments to Chapter V of the Safety Of Life At Sea (SOLAS) Convention, which grant legal equivalence between the Electronic Navigational Charts and the traditional paper charts. With this revision, which enters into force in the 1st of July 2002 (under tacit acceptance), the charts ships must carry may be electronic ones, as long as they are read and presented in a type-approved ECDIS.*

*The use of ECDIS, with Electronic Navigational Charts, will improve safety of navigation and maritime safety, and will also reduce the workload of navigators. For all this, we can say that the introduction of ECDIS will be the biggest revolution in maritime navigation, since the advent of radar.*

## 1. O que são Cartas Electrónicas de Navegação?

A evolução mais recente na cartografia náutica consistiu na produção e distribuição de cartas electrónicas, as quais têm sido produzidas em dois formatos diferentes: *raster* e *vector*. Tem-se assistido a um grande debate sobre as vantagens e desvantagens relativas de cada um desses formatos, pelo que convém começar por explicar em que consiste cada um deles e quais as suas características principais.

As cartas em formato *raster* representam apenas uma imagem digital das cartas de papel e são, geralmente, produzidas por *scanning* ou *fac-simile*. Estas cartas são meras reproduções das cartas de papel, possuindo uma imagem e uma simbologia familiares aos navegantes. Além disso, podem ser produzidas muito rapidamente, enquanto a produção de cartas vectorizadas é bem mais demorada.

As cartas em formato *vector* são constituídas por um conjunto de pontos, linhas ou polígonos, especificados pelas suas coordenadas, e aos quais correspondem

determinados atributos. A palavra vector, neste contexto, deve ser entendida como representando um par de coordenadas (às quais se pode associar um vector). As cartas em formato vector possuem, assim, o que se pode designar por inteligência embebida pois permitem imputar inúmeros atributos a cada entidade, ou vector, definido pelas suas coordenadas geográficas. Estas cartas possuem grande flexibilidade na apresentação da imagem no écran, pois permitem seleccionar apenas determinados tipos de informação, tornando a imagem apresentada mais clara e evitando excesso de informação no écran. A possibilidade de imputar diversos atributos a cada vector permite aos sistemas de leitura de cartas neste formato incorporar alarmes e avisos que serão accionados em circunstâncias definidas pelo operador (por exemplo: sempre que a profundidade, que é um dos atributos imputados a cada vector, for inferior a um dado valor).

A produção de cartas náuticas em formato vector começou na década de 80. As grandes potencialidades deste formato levaram a Organização Hidrográfica Internacional (OHI) a adoptá-lo para a produção de cartas electrónicas oficiais e a empenhar-se na criação de um standard aplicável à sua produção. Desde o início da produção de cartas electrónicas, um dos objectivos foi o de obter para elas a equivalência às tradicionais cartas náuticas de papel a fim de, no futuro, as substituir. Para isso era necessário criar legislação que uniformizasse a produção cartográfica electrónica em todo o Mundo, tarefa que foi desenvolvida pela OHI ao elaborar uma norma com a definição do formato padrão dos dados das Cartas Electrónicas de Navegação Oficiais (CENO), intitulada *Transfer Standards for Digital Hydrographic Data*, geralmente conhecida por norma S-57. Esta norma foi sendo actualizada, encontrando-se actualmente em vigor a 3.ª edição, datada de 1997.

A definição de Carta Electrónica de Navegação constante nas INA-2 (Instruções de Navegação da Armada – Volume 2) refere que se trata de uma «base de dados normalizada em conteúdo, estrutura e formato, publicada por uma autoridade hidrográfica oficial» e destinada a ser utilizada com o *Electronic Chart Display and Information System* (ECDIS).

Assim, apenas as cartas normalizadas, ou seja que estejam conformes com a norma S-57 – 3.ª edição, podem tomar a designação de Cartas Electrónicas de Navegação. Além disso, para serem consideradas equivalentes às cartas de papel, têm que ser publicadas por, ou sob autorização de, uma organização hidrográfica governamental, só assim adoptando a designação de CENO.

A produção e distribuição de CENO está a decorrer a um ritmo relativamente lento, pois os organismos hidrográficos governamentais têm evitado produzir Cartas Electrónicas de Navegação com informação hidrográfica antiga e obtida com sistemas de posicionamento de exactidão inferior aos actuais sistemas, nomeada-

mente ao DGPS (Differential GPS). Seria um contrassenso estar a distribuir CENO, que são um produto da aplicação das mais altas tecnologias à cartografia, contendo informação obtida, muitas vezes, antes da 2.ª Guerra Mundial.

Como existem muitas áreas de navegação que já não são alvo de levantamentos hidrográficos há bastantes anos, torna-se necessário um grande esforço na realização de levantamentos hidrográficos com vista à obtenção de informação actualizada para incluir nas CENO. Além disso a criação das CENO, de acordo com o formato S-57 – 3.ª edição, é relativamente morosa, devido à complexidade do produto final.

Para suprir esta lacuna temporária, alguns institutos hidrográficos governamentais lançaram no mercado cartas electrónicas oficiais em formato *raster*, que correspondem a um *fac-simile* das cartas náuticas oficiais de papel produzidas por essas organizações. Essas cartas *raster* oficiais, embora não permitam a performance extremamente versátil e avançada das CENO, possuem todas as vantagens das cartas de papel, melhoradas pela natureza digital do seu formato. São exemplo de cartas *raster* oficiais as cartas ARCS (*Admiralty Raster Charts Service*), as cartas *raster* lançadas pela *United States National Oceanographic and Atmospheric Administration* (NOAA) e pelo *Canadian Hydrographic Office*, no formato BSB, e as cartas do *Australian Hydrographic Office*, no formato SEAFARER. Reconhecendo o papel que estas cartas podem desempenhar enquanto não existir uma cobertura adequada de CENO, o Comité de Segurança Marítima da Organização Marítima Internacional (OMI) decidiu, em 8 de Dezembro de 1998, «permitir a utilização dos ECDIS com cartas *raster* oficiais sempre que não houver CENO da área em causa» [resolução MSC.86(70)]. No entanto, elas não são consideradas equivalentes às cartas náuticas oficiais de papel, pelo que sempre que os ECDIS estejam a funcionar com cartas *raster* deve ser usado simultaneamente um fólio de cartas de papel actualizadas.

De qualquer maneira, essa decisão apoia o conceito denominado, na gíria, por *dual-fuel*, que prevê a utilização de cartas *raster* oficiais em conjugação com CENO, sendo que as primeiras serão usadas caso não haja CENO disponíveis.

O Instituto Hidrográfico está empenhado desde há alguns anos na produção de CENO. Em 25 de Fevereiro de 2000, começaram a ser comercializadas as duas primeiras células de CENO, correspondentes à barra do porto de Lisboa. Em finais de 2001, já estavam produzidas um total de 15 CENO: 4 correspondentes ao porto de Lisboa, 4 células costeiras (costa do Algarve, costa oeste de Portugal Continental entre Aveiro e Peniche, entre o Cabo da Roca e Sines e entre Sines e Lagos), 2 cartas de Leixões (aproximações e portuária), 2 cartas de Sines (aproximações e portuária) e 3 do Arquipélago dos Açores (a carta geral de todo o Arquipélago e duas cartas dos

grupos central e oriental). Prevê-se concluir, em 2002, a cobertura de todas as águas costeiras Portuguesas, numa área que vai desde a linha de costa até cerca de 60 milhas.

Refira-se que, à semelhança do que acontece com as cartas de papel, o Instituto Hidrográfico não vende as cartas electrónicas, que produz, directamente ao público, uma vez que a sua distribuição compete a concessionários autorizados. No caso das células de CENO, a sua comercialização está a ser feita não só por distribuidores autorizados espalhados pela Europa como também pelo PRIMAR, que é uma associação dos institutos hidrográficos e cartográficos de dez países Europeus que tem por objectivo facilitar o acesso dos navegantes às CENO e também regular, numa fase inicial, o seu preço no mercado, evitando que suba de forma especulativa.

Relativamente ao fornecimento de CENO às unidades da Marinha Portuguesa, trata-se de um assunto que ainda está a ser estudado, existindo a possibilidade de o Instituto Hidrográfico vir a ser o organismo fornecedor, tal como acontece com as cartas de papel. De qualquer maneira, qualquer que seja o organismo fornecedor, as células de CENO Portuguesas fornecidas aos navios da Marinha serão sempre gratuitas e as células de CENO estrangeiras terão que ser pagas.

## 2. O que são *Electronic Chart Display and Information Systems* (ECDIS)?

De uma forma muito simplista, os ECDIS são equipamentos destinados a ler as Cartas Electrónicas de Navegação, sendo constituídos por uma componente de hardware, que inclui um écran com determinadas dimensões mínimas (270 mm por 270 mm), e um software adequado a leitura e apresentação da informação cartográfica.

O grande impulso ao desenvolvimento de ECDIS surgiu em Dezembro de 1995 quando a 19.<sup>a</sup> Assembleia da OMI aprovou a resolução A.817(19), intitulada *Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems*. Essa resolução afirma que o «ECDIS, com os necessários *back-ups*, pode ser aceite como sendo equivalente às cartas náuticas actualizadas requeridas pela regra V/20 da Convenção SOLAS de 1974», abrindo assim a porta à substituição das tradicionais cartas de papel por ECDIS e CENO. Embora essa resolução desenvolva pouco a questão dos *back-ups*, estabelece que têm que ser capazes de «assegurar uma navegação em segurança durante o resto de uma viagem em caso de avaria do ECDIS».

Entretanto, logo em 1996, o Comité de Segurança Marítima da OMI haveria de publicar uma resolução explicitando melhor quais os requisitos necessários ao *back-up* do ECDIS, para que este possa substituir as cartas de papel [resolução MSC.64(67)]. Esta resolução

deixa em aberto a possibilidade de o *back-up* ao ECDIS ser um sistema electrónico ou serem as próprias cartas de papel. Assim, aceitam-se os seguintes *back-ups*:

- um segundo equipamento ECDIS certificado<sup>1</sup>;
- um sistema de leitura de cartas electrónicas de navegação não equivalente ao ECDIS<sup>1</sup>, mas que cumpra os requisitos mínimos estabelecidos na resolução MSC.64(67) e que use dados (ou cartas) oficiais;
- as cartas náuticas oficiais de papel.

Seguindo o procedimento habitual para todos os equipamentos radio-eléctricos de navegação, os *Performance Standards ...* da OMI foram amplificados pela Comissão Electrotécnica Internacional (CEI) através de um documento técnico que serve de referência para os fabricantes e para as autoridades certificadoras de ECDIS.

Esse documento da CEI foi concluído em finais de 1998 e publicado como resolução CEI 61174, intitulada *ECDIS – Operational and performance standards, methods of testing and required test results*.

Os equipamentos certificados de acordo com a resolução CEI 61174 são os únicos que tomam a designação de ECDIS, todos os outros equipamentos de leitura e visualização de cartas electrónicas de navegação tomam a designação de *Electronic Chart Systems* (ECS). São poucas as organizações habilitadas a efectuar a certificação de ECDIS, sendo as mais conhecidas a *Det-Norske Veritas* e o instituto hidrográfico Alemão: BSH (*Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie*). No Outono de 1999, foi certificado o primeiro equipamento ECDIS em todo o Mundo: o *Navi-Sailor 2400 ECDIS* da firma TRANSAS. Entretanto, já foram certificados outros equipamentos ECDIS, nomeadamente os das firmas *Kelvin Hughes*, *HDW – Hagenuk Schiffstechnik*, *STN Atlas*, *Raytheon*, *Kongsberg SIMRAD* e *Litton Marine Systems*.

Como foi dito acima, o facto de não existir cobertura Mundial com CENO não inviabiliza a utilização global do ECDIS, pois este pode funcionar no modo *dual-fuel*, i.e. quando houver CENO da área em que o navio navegue, o ECDIS usá-la-á, prioritariamente, quando o mesmo não suceder, o ECDIS utilizará uma carta *raster*, das quais já existe cobertura Mundial.

## 3. O que são os *Warship ECDIS* (WECDIS)?

Ao responder à pergunta sobre o que é um WECDIS, somos tentados a responder que é apenas um ECDIS com um W antes. E ao defini-lo assim, estamos de facto muito próximos da realidade, pois um WECDIS não é

<sup>1</sup> Com uma fonte de alimentação completamente independente do ECDIS primário.



mais do que um ECDIS, tal como definido pela OMI e pela CEI, preparado para trabalhar num ambiente de guerra (e daí o W, inicial de *Warship*).

Reconhecendo as potencialidades dos ECDIS, a NATO iniciou, em 1997, o desenvolvimento dos requisitos para um *Warship* ECDIS (WECDIS). Esse trabalho decorreu no âmbito do Sub-comité de Navegação, dependente do *NATO C3 (Consultation, Command and Control) Board*, tendo resultado na criação do STANAG 4564.

Como sistema de navegação de utilização global, o WECDIS deverá cumprir os *performance standards* definidos pela OMI, usar cartas electrónicas no formato definido pela OHI e cumprir os requisitos de certificação estabelecidos pela CEI. Dito de outra forma, a base dos WECDIS serão os ECDIS certificados. No entanto, os WECDIS têm um conjunto de requisitos adicionais de natureza militar, destinados a potenciar as capacidades dos navios NATO em termos de navegação e aptidão para combate. Esses requisitos traduzir-se-ão sobretudo em:

- capacidade de trabalhar com dados em formatos diferentes do S57 – 3.<sup>a</sup> edição, nomeadamente em formatos padrão usados pela NATO, como por exemplo o DIGEST, o VPF e o DNC.
- capacidade de ler e apresentar informação adicional essencial para a condução da guerra naval. Esta informação é designada por *Additional Military Layers* (AML), incluindo posições de minas, *lanes* de trânsito de submarinos, *Q-routes*, etc.

Em relação ao formato dos dados, pretendeu-se que os WECDIS pudessem utilizar uma gama alargada de dados, além dos formatos que são normalmente lidos num ECDIS certificado, que são as cartas vectorizadas no formato S57 – 3.<sup>a</sup> edição e as cartas *raster* oficiais<sup>2</sup>. Assim, o WECDIS poderá usar, também, dados no formato DIGEST (*Digital Geographic Information Exchange Standard*). O DIGEST é um formato padrão definido pelo *Digital Geographic Information Working Group* da NATO, no STANAG 7074, visando a troca de dados digitais entre produtores e utilizadores. Alguns dos produtos DIGEST são em formato vector, outros são em formato *raster*. Eis alguns desses produtos desenvolvidos pela NATO: DNC<sup>3</sup> (*Digital Nautical Chart*), ASRP<sup>4</sup> (*ARC Standard Raster Product*), VPF<sup>5</sup> (*Vector Product*

<sup>2</sup> Os ECDIS certificados apenas são obrigados a ler os dados no formato S 57-3.<sup>a</sup> edição, mas os equipamentos colocados no mercado geralmente têm, também, a capacidade de ler cartas *raster* oficiais, nomeadamente nos formatos ARCS, BSB e SEAFARER.

<sup>3</sup> DNC são as cartas oficiais em formato vector produzidas pela *United States National Imaging and Mapping Agency* (NIMA) e pelo *Canadian Military Charting Establishment* (MCE).

<sup>4</sup> ASRP é um produto *raster*, compatível com o formato DIGEST, que resulta de um *scanning* de cartas militares de várias fontes.

*Format*), Vmap<sup>5</sup> (*Vector Map*) e UVMaP<sup>5</sup> (*Urban Vector Map*). Além disso, o WECDIS deverá ter ainda capacidade para ler e usar todos os outros formatos usados pela NATO nos seus diferentes tipos de cartas digitais e nas suas bases de dados de elevações do terreno, imagens satélite, etc. Esta capacidade de usar diferentes tipos de dados de uma grande variedade de fontes é normalmente designada por *multi-fuel*.

Relativamente às AML, estas constituirão um meio de trocar informação crítica e específica para utilização em combate, informação essa que poderá ser facilmente visualizada num WECDIS. Nesse aspecto, o WECDIS poderá ajudar a ultrapassar o eterno dilema dos comandantes militares num teatro de operações: geralmente, a informação necessária não está disponível; se está disponível não pode ser usada (porque está no formato errado ou porque necessita de um equipamento especial); e quando, finalmente, está disponível e pode ser usada já se encontra desactualizada ...

Num teatro de operações, as envolventes hidrográfica e/ou topográfica podem mudar significativamente em curto espaço de tempo, sendo necessário que o sistema de navegação usado (WECDIS) represente, com a brevidade possível, a situação real.

Por exemplo, caso haja o lançamento de minas, será necessário determinar a sua posição (e proceder à sua rocega), após o que é essencial que essa informação seja passada a todas as Unidades Navais amigas. Esse é o tipo de informação que poderá ser incluído numa AML.

Outro exemplo: em caso de tiro contra costa, a linha de costa pode ser consideravelmente alterada, pelo que será necessário criar uma AML contendo essa informação (nova batimetria e nova topografia) para ser rapidamente disseminada por todas as unidades envolvidas, facilitando, por exemplo, a realização de uma operação de desembarque.

As AML poderão, assim, acomodar todo o tipo de informação essencial para a condução da guerra naval, estando definidos os seguintes tipos de AML:

- Comando & controlo (inclui campos de minas, áreas de exercícios, áreas perigosas, zonas de exclusão, limites de gelos, mares territoriais, limites de pesca, etc);
- Áreas e limites de *routes* (inclui *Q-routes*, áreas de exercícios classificadas, etc);

<sup>5</sup> VPF, Vmap e UVMaP são bases de dados com listas de todas as obstruções criadas pelo homem acima do solo (edifícios, antenas, torres, etc). O VPF é produzido pelos Estados Unidos, ao passo que o Vmap e o UVMaP são produtos NATO. Estas bases de dados são importantes para a navegação aérea (para utilização em sistemas de *Terrain Referenced Navigation*), mas também para a Marinha, nomeadamente no planeamento de lançamento de mísseis, planeamento de redes de comunicações *line of sight*, escolha de locais para instalação de radares, previsão da silhueta radar de zonas costeiras, etc.

- Contornos batimétricos [para navegação submarina a grande profundidade, operações anfíbias, operações de guerra de minas, reboque de *Variable Depth Sonars* (VDS) ou *towed arrays*, etc];
- Contactos *Mine Counter Measures* (MCM), incluindo todos os objectos no fundo do mar com tamanho entre 0,5m e 5m, quer tenham sido classificados como minas ou não;
- *Wrecks* e grandes objectos afundados [ $> 5m$ ] (inclui contactos classificados como *non-sub*, rochas, navios afundados com assinatura magnética, etc);
- Linha de costa (inclui perfis e limites das praias, tipo de sedimentos, imagens satélite, tipo de vegetação, gelos, etc);
- ASW (inclui tipos de sedimentos, *pipelines*, cabos submarinos, etc);
- Oceanografia (inclui correntes, ruído ambiente, ruído provocado pelo homem, biologia marítima e propriedades físicas: salinidade, temperatura, velocidade do som na água, densidade, etc).

Todo este tipo de informação é importante para a condução de operações navais, sendo que as AML poderão constituir a ferramenta ideal para a disseminação desta informação, que será depois lida nos WECDIS, juntamente com toda a restante informação sobre a navegação da plataforma. Por forma a permitir que se tire o máximo partido das AML, o WECDIS incorporará (além dos alarmes previstos pela OMI para o ECDIS) alarmes sempre que for infringida alguma área de perigo associada às AML, como por exemplo quando um navio entrar num campo de minas ou numa área de exercício de submarinos. O WECDIS incorporará também outros alarmes específicos, como por exemplo quando a diferença entre a profundidade lida pela sonda e a profundidade contida na carta electrónica for maior que um valor pré-determinado, ou quando a diferença entre as posições calculadas por dois sistemas de navegação diferentes exceder um valor pré-definido.

A transferência da informação contida nas AML (navio-navio, navio-terra e terra-navio) far-se-á através de comunicações por satélite. Ao efectuar a transferência imediata de dados sobre navegação/combate, conseguir-se-á melhorar significativamente a inter-operabilidade entre Unidades Navais.

Os comandos em terra poderão utilizar as comunicações por satélite para enviar para as Unidades Navais não só as AML, mas também todos os Avisos aos Navegantes, imprescindíveis não só para militares como também para os navegantes civis. A rápida disseminação da informação de segurança marítima (nomeadamente dos Avisos aos Navegantes) é fundamental para navios de guerra, mais ainda do que para navios mercantes. Enquanto estes últimos navegam em linhas de navegação bem estabelecidas e conhecidas, os navios de guerra

podem ser obrigados a operar em águas pouco familiares, frequentemente a altas velocidades e com o radar desligado. Nessas circunstâncias, a demora na recepção de correcções às cartas pode resultar num risco acrescido inaceitável.

Além destes dois grandes requisitos adicionais dos WECDIS (utilização de dados em formatos variados e inclusão de AML), existem outros aspectos que merecem ser referidos.

Em primeiro lugar, o sistema WECDIS previsto para ser utilizado a bordo dos navios NATO será composto por duas consolas montadas na ponte<sup>6</sup>: uma consola de planeamento, para ser utilizada pelo Navegador (*Route Planning Display*), e uma consola de monitorização, para o Oficial de Quarto (*Route Monitoring Display*). As consolas serão iguais e inter-mutáveis, por forma a que exista sempre um *back-up*. Ambas estarão integradas com todos os equipamentos de navegação, nomeadamente ARPA, girobússola, odómetro e GPS ou DGPS. Além destas duas consolas, o WECDIS será constituído por uma *Digitising Chart Table* (para a construção de *overlays*), uma impressora (para imprimir cartas a partir da base de dados do WECDIS) e por um *data recorder*, designado no STANAG 4564 por *white box* (para gravação de dados operacionais ou de navegação, por forma a permitir análise *a posteriori*).

Outro aspecto importante é o interface com o Sistema de Combate, que permitirá a transferência da informação operacional do Sistema de Combate para o WECDIS, permitindo ao Navegador ajustar permanentemente o plano de navegação às necessidades operacionais do navio. Em sentido inverso, o plano de navegação poderá ser transferido instantaneamente para as consolas do Sistema de Combate, permitindo aos Oficiais do Centro de Operações acompanhar a execução desse plano. Os símbolos tácticos usados nas AML deverão ser conformes com o STANAG 4420, para que haja uniformização de simbologia entre o WECDIS e o Sistema de Combate.

Como curiosidade, refira-se ainda que o WECDIS terá palavras-chave para diferentes utilizadores, sendo que a do Navegador (ou de outros Oficiais designados pelo Comandante) permitirá-lhe-á alterar o plano de navegação e a informação constante das AML. Os Oficiais de Quarto terão outras palavras-chave, que lhes permitirão definir, por exemplo, os limites para alarmes (distância mínima a costa, profundidade mínima, etc.), mas nunca alterar o plano de navegação.

<sup>6</sup> Recorde-se que para que haja equivalência com as cartas de papel a OMI obriga os navios a possuírem um *back-up* ao ECDIS, o qual pode ser um segundo ECDIS. Embora não seja por isso que a NATO requer a existência de duas consolas, é curioso verificar que tanto a nível civil como a nível militar se aponta para soluções semelhantes (duplicação do equipamento).

No futuro, o WECDIS irá transformar a forma tradicional de conduzir a navegação e resultará na eventual dispensa das cartas náuticas de papel para posicionamento e navegação. O WECDIS permitirá automatizar muitas das rotinas do processo de condução da navegação (como por exemplo a marcação do ponto na carta, a necessidade de cantar a sonda, o controlo de azimutes de resguardo, etc), facilitando a tarefa do Oficial de Quarto, que se poderá concentrar um pouco mais na capacidade combatente do seu navio. No entanto, os benefícios da utilização do WECDIS ultrapassam largamente este aspecto.

Embora o STANAG 4564 já tenha sido aprovado por alguns dos países que integram a NATO, ainda não está definido a quem competirá efectuar a certificação dos WECDIS. Desta forma, ainda não existe nenhum WECDIS certificado, estando vários fabricantes a desenvolver equipamentos que cumpram os requisitos estabelecidos nesse STANAG. No entanto, é difícil prever com exactidão quando tais equipamentos estarão disponíveis no mercado, dada a dificuldade de efectuar o interface com os (diferentes) Sistemas de Combate.

#### 4. Vantagens da utilização de ECDIS/WECDIS

Os ECDIS e os WECDIS constituem uma mais valia extraordinária para os navegantes, sobretudo quando usados com CENO, contribuindo significativamente para o aumento da segurança marítima. As principais vantagens na sua utilização são as seguintes:

##### ■ Fácil execução de planeamento de viagens

Durante a fase de planeamento de uma viagem, uma das tarefas mais importantes, mas também mais morosas, é a **actualização da informação cartográfica**. Nos ECDIS/WECDIS esta tarefa é muito simplificada, sendo feita de forma automática, o que garante maior precisão e maior fiabilidade à correcção de cartas. Além disso, a actualização das cartas electrónicas em pleno mar é já uma realidade, podendo as correcções ser recebidas via satélite. De qualquer maneira, o operador tem sempre a possibilidade de continuar a fazer correcções à carta manualmente, dispondo, para o efeito, de um conjunto de símbolos e abreviaturas que poderá utilizar<sup>7</sup>. O ECDIS/WECDIS permite também efectuar o **planeamento de viagens** de forma mais rápida e mais

<sup>7</sup> A introdução de correcções manualmente não permite apagar nenhuma informação da carta. Se, por exemplo, uma bóia for recolocada, o operador ao fazer essa correcção manualmente poderá apenas colocar uma cruz sobre a bóia original, colocando uma nova bóia na posição adequada.

eficiente, permitindo a inserção de linhas limites de águas navegáveis, linhas de resguardo, outros contornos de segurança e áreas perigosas. Além disso, o **planeamento de viagens** pode ser elaborado com antecedência e gravado para utilização futura. Em caso de forças navais, será possível enviar o respectivo plano de navegação para todas as Unidades Navais, através de e-mail ou por disquete/CD. Como as cartas electrónicas **não se degradam nem se rasgam** devido a utilização frequente, como acontece com as cartas de papel, o Navegador pode alterar o seu planeamento, as vezes que desejar, sem isso implicar a necessidade de aquisição de novas cartas. A execução do planeamento é simplificada pelo acesso fácil a **informação adicional** sobre os faróis, bóias, balizas, radio-ajudas à navegação, etc, sem necessidade de consulta das respectivas publicações náuticas oficiais.

Alguns ECDIS/WECDIS possuem também módulos de **planeamento de operações de Busca e Salvamento**, permitindo desenhar automaticamente sobre a carta as pernadas a efectuar, em função do tipo de busca escolhido: quadrado expandido, pernadas paralelas ou busca por sectores.

##### ■ Maior eficácia na condução da navegação

A **posição do navio** é extremamente fácil de visualizar e a clareza do écran do ECDIS/WECDIS permite ao navegador aperceber-se, facilmente, da aproximação a qualquer perigo para a navegação, até porque a **quantidade de informação** apresentada no écran depende da escala de apresentação da carta electrónica: quando se faz *zoom in* é apresentada mais informação relevante e quando se faz *zoom out* alguma informação é removida, para que o écran não fique sobrecarregado. Além disso, o próprio navegador pode **seleccionar** a cada momento quais as linhas e objectos que pretende, e quais os que não pretende, que sejam mostrados, existindo, no entanto, informação que nunca poderá ser removida do écran do ECDIS, para que não haja comprometimento da segurança da navegação<sup>8</sup>. A possibilidade de activar **alarmes e avisos** sempre que se ultrapasse uma área definida pelo operador facilita bastante a monitorização da execução do plano de navegação.

Para facilitar a visualização da informação cartográfica, os ECDIS/WECDIS podem apresentar as Cartas

<sup>8</sup> O *display* base do ECDIS é constituído pela linha de costa; linha limite de águas navegáveis para o navio próprio; perigos isolados; bóias, balizas e outras ajudas à navegação; escala, orientação e modo de apresentação da carta; Esquemas de Separação de Tráfego e unidades de profundidade e altitude. Esta é a informação que nunca se consegue remover do écran.

Electrónicas de Navegação com **várias tonalidades**: mais claras, para utilização diurna, e mais escuras, para utilização nocturna, havendo vários níveis intermédios.

Consegue-se também melhorar a eficácia na condução da navegação graças à possibilidade de sobrepor à CENO **Marine Information Objects**, que são objectos cujos valores variam com o tempo, como por exemplo informação meteorológica e oceanográfica, altura de maré e declinação magnética.

Finalmente, os ECDIS permitem a **gravação** do todo, ou de parte, de viagens, bastante útil para efeitos históricos e para treino

### ■ **Integração do ECDIS/WECDIS com os vários sensores e receptores**

O ECDIS e o WECDIS permitem integrar praticamente todos os sensores e receptores de navegação, nomeadamente dois sistemas de radio-posicionamento, girobússola, radar/ARPA, sonda, odómetro, piloto automático, NAVTEX e faxes de recepção de informação meteorológica.

A **integração com os sistemas de radio-posicionamento** permite a implantação da posição do navio no écran automática e continuamente, reduzindo o trabalho do pessoal de quarto e eliminando o risco de erro humano na marcação dessa posição.

A **integração com o radar ou ARPA** permite a sobreposição da imagem radar/ARPA no écran, podendo o operador variar o grau de transparência do *overlay* da imagem radar. A placa que efectua esta integração extrai todos os dados relativos aos contactos radar, até um máximo que pode ir até 500 contactos, conseguindo gravar essa informação, bem como a imagem *raw radar*, correspondente a cerca de 1 mês de operação<sup>9</sup>. Desta forma, a placa de integração do radar permite adquirir e seguir todos os contactos detectados no radar, mesmo que seja um radar extremamente básico, e tratar a informação sobre esses contactos da mesma forma que no mais moderno ARPA. Ou seja, a placa de integração do radar acrescenta a um vulgar radar as funcionalidades de um ARPA, funcionando assim como um verdadeiro *upgrade* ao radar. Além desta mais-valia extraordinária, a sobreposição da imagem radar apresenta outros importantes benefícios:

- Verificação da exactidão da posição do navio, através da comparação da posição de pontos conspícuos na carta com a posição dos seus ecos radar/ARPA. Se não houver correspondência entre a imagem radar da linha de costa e a sua representação na carta electrónica então o operador percebe imediatamente haver um erro no sistema de posicionamento ou na girobússola. Se todos os pontos conspícuos estiverem deslocados numa determinada direcção, então isso significa que o sistema de posicionamento tem um erro, cuja dimensão é igual a esse desvio. Se a imagem radar estiver rodada relativamente à da carta, então estamos na presença de um erro da girobússola, facilmente identificável;
- Distinção imediata entre bóias/balizas e outros contactos estacionários, facilitando as tarefas de anti-colisão;
- Melhor entendimento das intenções e movimentos de alguns contactos radar, nomeadamente nos casos em que estejam num corredor de tráfego, numa posição de embarque de pilotos ou numa área de fundeadouro.

Para finalizar, esta breve análise aos benefícios da sobreposição da imagem radar, importa referir que se pode fazer o *overlay* do radar sobre a carta electrónica apenas numa janela definida pelo próprio operador, para esclarecimento de alguma situação duvidosa. Além disso, o operador do ECDIS pode remover a carta electrónica do écran do ECDIS, ficando apenas com a imagem do radar.

A **integração com o NAVTEX** permite apresentar no écran o texto de todas as mensagens NAVTEX recebidas. Quando os avisos NAVTEX contiverem coordenadas, elas serão automaticamente extraídas, sendo inserido na posição correcta um símbolo especial que facilita a visualização da situação. Quando os avisos NAVTEX expiram, o operador é avisado podendo apagá-los.

A **integração com faxes de recepção meteorológica** permite apresentar a informação das cartas de tempo (vento, pressão atmosférica, ondulação, vaga, etc) directamente sobre a carta electrónica, facilitando o roteamento meteorológico (que poderá ser feito automaticamente pelo sistema).

Todas estas vantagens se traduzirão numa melhoria da segurança marítima e da segurança da navegação, reduzindo ao mesmo tempo a carga de trabalho exigida aos navegantes. Por tudo isso se pode dizer que a introdução dos ECDIS constituirá a maior revolução na navegação marítima desde o advento do radar.

Além de todas estas vantagens, que são comuns ao ECDIS e ao WECDIS, o sistema desenvolvido pela NATO,

<sup>9</sup> Esta possibilidade é muito importante para os navios da Marinha envolvidos em acções de fiscalização, pois permitirá provar em tribunal que dada embarcação se encontrava, de facto, numa posição não permitida (por exemplo: embarcação de pesca a arrastar para dentro das 6 milhas). Isto já para não falar na facilidade com que se passará a efectuar a investigação de eventuais acidentes marítimos envolvendo navios da Marinha.

quando disponível no mercado, trará também os seguintes benefícios:

- **Aumento da interoperabilidade** entre as Unidades Navais da NATO, graças à troca de informação relevante para a navegação e o combate (sob a forma de AML);
- **Melhoria da capacidade combatente** das Unidades Navais, em virtude da disponibilização das AML;
- Contribuição para a **uniformização de formatos** na transferência de informação geo-espacial entre forças da NATO;
- Possibilidade de **utilização de dados em variados formatos**.

## 5. Implementação de ECDIS/WECDIS na Marinha Portuguesa

Face a tudo o que foi exposto, considera-se extremamente vantajosa a instalação de ECDIS/WECDIS nas Unidades Navais da Marinha, a qual já está a ser planeada pelo Estado Maior da Armada, em colaboração com outros organismos da Marinha, incluindo o Instituto Hidrográfico.

Não cabe aqui apresentar o trabalho que está a ser desenvolvido nesse âmbito, mas parece-nos adequado deixar algumas pistas quanto ao tipo de equipamento que se deverá instalar nos vários navios da Marinha, baseando-nos apenas em critério técnicos e empíricos, que carecem de sustentação mais alargada. Um dos aspectos importantes, que já está a ser ponderado no âmbito desse trabalho, é o de tentar determinar qual o período mínimo que poderá justificar a instalação de um ECDIS ou WECDIS a bordo. Para os navios cuja expectativa de vida, após a data de instalação de ECDIS ou WECDIS, não ultrapasse esse período mínimo não se justificará a inclusão desse equipamento. Este tipo de raciocínio terá que ser feito para todos os navios que já têm uma idade relativamente avançada, nomeadamente as fragatas da classe «João Belo», as corvetas, os patrulhas da classe «Cacine», as lanchas de desembarque da classe «Bombarda» e as lanchas de fiscalização «Albatroz» e «D. Jeremias».

Quanto ao tipo de equipamentos a instalar em cada navio, parece justificar-se uma divisão das Unidades Navais da nossa Marinha em 3 categorias:

- navios que participam habitualmente em forças da NATO,
- navios patrulha ou maiores e
- navios de menores dimensões.

Nos navios que participam habitualmente em forças da NATO, considera-se tecnicamente aconselhável a ins-

talação futura de WECDIS, por forma a melhorar a sua inter-operabilidade com outros navios de países aliados. Estão nesta situação as fragatas da classe «Vasco da Gama», o reabastecedor de esquadra «Bérrio», o futuro NAVPOL e os novos submarinos. No entanto, como ainda não existe nenhum WECDIS certificado, dever-se-á optar por instalar, no imediato, um equipamento ECDIS, o que permitirá ao pessoal dos navios familiarizar-se com a tecnologia das cartas electrónicas e começar a adaptar o funcionamento das suas equipas de navegação a esta nova realidade. Estar-se-á, assim, a preparar o caminho para a introdução futura de WECDIS, que ainda não estão disponíveis no mercado. A forma como se irá processar a evolução futura para os WECDIS dependerá da forma como os fabricantes também fizerem a transição dos ECDIS para os WECDIS. Caso se consiga fazer a integração do ECDIS com o sistema de combate dos navios (que é um requisito estabelecido no STANAG 4564) essa evolução será mais fácil e mais suave: passará eventualmente por uma actualização do software do ECDIS que lhe permita ler as AML<sup>10</sup>. Numa perspectiva mais radical, poderá ser necessário substituir os ECDIS por WECDIS. Nesse caso, os ECDIS poderão ser facilmente recolocados noutros navios da nossa Marinha, tendo-se já ganho uma importante prática na utilização deste sistema, que facilitará a introdução dos WECDIS. Em relação ao NAVPOL e aos novos submarinos, é provável que à data das respectivas entregas já haja WECDIS certificados, o que possibilitará a instalação desse equipamento logo de origem<sup>11</sup>.

Para os navios patrulha ou maiores, em que se incluem os novos navios de patrulha oceânica, as corvetas, os navios hidrográficos, a «Sagres» e o «Creoula», justifica-se, em termos técnicos, a aquisição de um ECDIS. No caso das corvetas e dos patrulhas velhos a sua aquisição deverá depender da respectiva expectativa de vida.

Para as Unidades Navais mais pequenas, em que os espaço na ponte é por norma exíguo, tem que ser bem ponderada a montagem de um ECDIS certificado, dadas as suas dimensões relativamente grandes. O ECDIS é composto por um monitor de 21", com aproximadamente 50u 60u 60 cm, mais um processador de tamanho semelhante ao de um vulgar computador *desktop*. Assim, para as lanchas de fiscalização e lanchas hidrográficas, talvez seja mais adequado montar um sistema

<sup>10</sup> Os ECDIS actuais têm abertura para a criação de novas camadas de informação, definidas pelo operador. Assim, será apenas necessário definir o formato em que se querem as AML, pois o software do ECDIS já abre o caminho para a adição de novas camadas.

<sup>11</sup> O prazo de construção do NAVPOL é de cerca de 48 meses e o dos novos submarinos é de 60 a 69 meses, o que atira as respectivas entregas para nunca antes de 2005, no caso do NAVPOL, e nunca antes de 2007, no caso do primeiro submarino.

com um monitor do tipo *flat panel*, que tem a grande vantagem de ser mais pequeno do que o monitor tradicional do ECDIS. Actualmente, os monitores do tipo *flat panel* não cumprem os requisitos em termos de cores e símbolos estabelecidos pela OHI na Norma S-52, pelo que os equipamentos de leitura de cartas electrónicas que possuem *flat-panels* não cumprem todos os requisitos de certificação, não podendo ser, numa interpretação purista, designados por ECDIS. No entanto, existem equipamentos de leitura de cartas electrónicas em que todo o hardware, com excepção do *flat panel*, é certificado e que correm *software* também certificado, e é exactamente esses equipamentos que se poderão instalar nos navios mais pequenos da nossa Marinha. Acrescente-se ainda que a CEI está a estudar a possibilidade de criar requisitos específicos para monitores, que serão aplicáveis não só aos monitores de ECDIS como também aos de radar, Sistemas de Navegação Inercial, etc. Esses requisitos permitirão, no futuro, aprovar e certificar na totalidade os sistemas de leitura de cartas electrónicas equipados com *flat-panels*.

No entanto, não se devem ignorar todos os problemas e desafios que se colocam quando se introduz um sistema de navegação completamente inovador. É fundamental proporcionar o treino adequado a todos os operadores, nomeadamente Oficiais de Quarto e Navegadores, para que não interpretem erradamente as informações providenciadas pelo ECDIS/WECDIS e para que não cometam erros de operação que possam comprometer a segurança do navio onde navegam.

É ingénuo pensar que os ECDIS/WECDIS e as CENO, devido à inteligência artificial que possuem, eliminarão o risco de erro humano. Essa necessidade de promover o treino é tanto maior quanto os ECDIS/WECDIS e as CENO são equipamentos/sistemas altamente sofisticados que vêm revolucionar algumas técnicas de navegação. Algumas das questões que requerem treino específico são:

- possibilidade de remover informação do écran, a qual se efectuada sem os necessários conhecimentos e treino pode levar a comprometimento da segurança;
- possibilidade de definir contornos de segurança, que deverá ser efectuada com muita cautela;
- necessidade de reagir adequadamente aos alarmes e avisos originados pelo sistema;
- possibilidade de seleccionar modos de apresentação da carta electrónica diferentes do habitual *North-up* (nomeadamente *Course-up* ou *Head-up*);
- utilização de simbologia diferente da usada nas cartas náuticas oficiais de papel<sup>12</sup>;
- necessidade de interpretar correctamente a imagem da carta electrónica quando existir sobreposição da imagem radar/ARPA.

Para efeitos de treino, o simulador da Escola Naval já possui um software de ECDIS certificado, o qual corre nos 5 computadores que constituem o simulador. Além disso, tudo aponta para que o simulador de manobra e navegação a instalar no CITAN e Escola Naval, actualmente em processo de aquisição, venha a possuir software de ECDIS certificado. No entanto, é fundamental que se equacionem todas as alternativas de treino na utilização de ECDIS, considerando, por exemplo, o desenvolvimento de um curso de ECDIS para ser ministrado pelo organismo da Marinha considerado mais adequado.

<sup>12</sup> Esta dificuldade está em grande parte atenuada pelo facto de os equipamentos ECDIS certificados serem obrigados a possibilitar a opção entre a apresentação dos símbolos e abreviaturas tradicionalmente usados nas cartas de papel ou a apresentação dos símbolos e abreviaturas simplificados, especialmente desenvolvidos para as cartas electrónicas.

# Sistemas de Informação no Instituto Hidrográfico

Rogério Antunes Chumbinho

CAPITÃO-TENENTE

**Resumo** Neste artigo são descritas as opções do Instituto Hidrográfico para a gestão dos dados patrimoniais do ambiente marinho, tomando como referência o ponto da situação do projecto SIGAMAR (Sistema de Informação Geográfica sobre o Ambiente Marinho).

Estas opções alinham-se segundo duas orientações principais: a concepção e o desenvolvimento de bases de dados centrais para receber os dados existentes e em contínua aquisição; e o desenvolvimento de aplicações de consulta, de exploração e de visualização de informação que sejam, simultaneamente, amigáveis para o utilizador e de carácter universal, mas com acesso controlado.

**Abstract** *This paper contains a description of the infrastructure under development at Instituto Hidrográfico (IH) for the management of marine environmental data, based on the current status of project SIGAMAR (Geographic Information System for the Marine Environment).*

*The infrastructure relies upon two major guidelines: the engineering and development of a central database to hold the existent data, as well as all the data continuously being acquired; and the development of suitable applications for querying, exploring and visualizing these data. The latter applications must be both user friendly and universally accessible by a large number of users, while maintaining access security control.*

## Sistemas de informação (geográfica ou não)

As actividades técnicas e de investigação que se vão executando no meio marinho têm como finalidade, primeira ou última, aumentar o conhecimento sobre o oceano. O aumento do conhecimento permite, entre outras coisas, encarar novas formas de utilização do mar e seus recursos ou compreender a evolução do ambiente marinho, para melhor o preservar.

Uma consequência destas actividades é a existência, em quantidade cada vez maior, de dados sobre o ambiente marinho. Desde cedo que se sentiu a necessidade de coordenar os esforços de integração e cabal aproveitamento do imenso volume de informação entretanto coligida. Esta necessidade verifica-se a todos os níveis organizacionais, desde as mais pequenas empresas ou unidades de investigação, até às organizações internacionais dedicadas exclusivamente à gestão de dados sobre o ambiente.

Na sua qualidade de órgão da Marinha dedicado às actividades técnicas no mar e ao complemento do conhecimento oceanográfico sobre o ambiente marinho no nosso País, o Instituto Hidrográfico foi, também, adquirindo um vasto conjunto de dados. O contínuo crescimento deste conjunto de dados veio revelar igual-

mente o mesmo problema que é comum a outras instituições: inexistência dum processo global e integrado de gestão dos dados adquiridos, não permitindo o aproveitamento racional e eficaz do rico conjunto de dados patrimoniais. Num contexto como este, a elaboração de produtos baseados no universo dos dados patrimoniais é tarefa pontual e morosa, muitas vezes manual e repetitiva, havendo um risco grande de perda de dados e informação histórica, quer por falta de documentação adequada, quer por obsolescência de suportes e métodos de arquivo.

Este estado das coisas agravou-se de há umas duas décadas a esta parte com a evolução registada nos métodos de aquisição de dados. À crescente pressão de ter sempre mais e melhor informação sobre o ambiente, o mais rapidamente possível, a indústria respondeu com sistemas de aquisição cada vez mais sofisticados, capazes de criar enormes quantidades de informação.

O correcto e eficiente tratamento destes imensos volumes de dados, desde a aquisição ao produto final destinado aos mais variados fins, passou, quase que naturalmente, a depender da disponibilidade de sistemas de informação, entendidos aqui como qualquer forma de organização de dados.

Os sistemas de informação podem ser muito simples ou mais complexos; os sistemas simples são aqueles

que se limitam a manter arquivos de dados, em formatos digitais ou não, catalogados de alguma maneira que permita pesquisa e extracção. Esta é a abordagem tradicionalmente adoptada por grande parte dos investigadores e tem grandes desvantagens no que respeita à acessibilidade e à preservação dos conjuntos de dados. De facto, estes conjuntos de dados tendem a perder-se com o tempo e são de difícil acesso fora do círculo de relações de cada investigador.

No outro extremo encontram-se os sistemas mais complexos, onde se recorre a computadores para ajudar a manter o sistema de informação, existindo pessoal dedicado ao conjunto de tarefas relacionadas com a concepção, desenvolvimento, manutenção e gestão tanto do sistema de informação como dos dados que este alberga. Estes sistemas têm as vantagens, a nosso ver fulcrais, de garantir a máxima acessibilidade e preservação dos conjuntos de dados.

Sem grande espanto, a tendência, observada nos organismos um pouco por toda a parte, é de passar para os sistemas mais complexos de sistemas de informação. Assim, foi-se implantando uma nova actividade, coexistindo com os diversos ramos do conhecimento, ocupados com a aquisição e exploração dos dados nas suas actividades técnicas e científicas, actividade essa que serve de base às restantes, e que é verdadeiramente multidisciplinar: a dos sistemas de informação aplicados às ciências da terra – Sistemas de Informação Geográfica, ou SIG. No caso particular do Instituto Hidrográfico, foi também iniciado um vasto processo de construção dum tal sistema de informação; aqui, o SIG diz respeito ao ambiente marinho e está em curso desde finais de 1997.

O Sistema de Informação Geográfica sobre o Ambiente Marinho (SIGAMAR) é um projecto que o Instituto Hidrográfico (IH) lançou para solucionar os problemas acima apontados e está a cargo do Centro de Dados Técnico-Científicos (CD). As razões que levaram à adopção de um método de trabalho em que o desenvolvimento do sistema é completamente feito com recursos próprios, utilizando um mínimo de *software* comercial excepto nas próprias actividades de programação, foram descritas por Abreu e Chumbinho (1996), verificando-se, mais recentemente, a sua confirmação por Bartlett (1999). Estas razões prendem-se basicamente com três grandes factores: a orientação applicacional dos SIG comerciais, a natureza muito particular do meio marinho (costeiro e profundo) e a especificidade dos dados ambientais marinhos.

No que respeita ao primeiro factor, constatou-se na altura do lançamento do projecto que praticamente todos os Sistemas de Informação Geográfica comercialmente disponíveis estavam vocacionados para aplicações terrestres. Esta vocação mantém-se ainda hoje e é consequência do muito maior número de utilizadores, individuais e institucionais, interessados em aplicações de SIG sobre a terra (cadastramento, florestas, agricultura, redes

viárias, redes de serviços, etc.), pese embora existam já ambientes SIG com produtos utilizáveis no meio marinho, como será abordado adiante.

Em segundo lugar, o meio marinho tem escalas temporais e espaciais muito diferentes das encontradas em terra, desde as grandes regiões do mar profundo até às mais confinadas zonas costeiras. Além disso, uma significativa fatia da população humana encontra-se estabelecida nas orlas continentais, o que exerce sobre estas regiões enormes pressões económicas, ambientais e demográficas. Isto torna a modelação dos sistemas de informação para o ambiente marinho e, em particular, para aplicações costeiras, uma tarefa muito complexa face à grande diversidade de funções, de entidades e de relações existentes entre elas.

Por último, o ambiente marinho está em permanente mutação, em especial junto à costa, que constitui a sua parte mais interessante. A aquisição de dados num ambiente total ou parcialmente coberto por água tem forçosamente condicionantes que não têm paralelo em terra; consequências inevitáveis da impossibilidade de ocupar fisicamente o local observado são o aumento da incerteza nas medições, um maior espaçamento entre observações e um maior custo das campanhas de observação. Do exposto resulta um equilíbrio delicado entre a necessidade de manter planos regulares de medição, para acompanhar a evolução do meio, e os custos deste processo. Torna-se assim facilmente compreensível o elevado valor associado aos dados sobre o ambiente marinho, bem como a sua característica verdadeiramente quadri-dimensional<sup>1</sup>. Esta última foi muito bem ilustrada por Lucas (1999), reproduzindo-se na fig. 1.

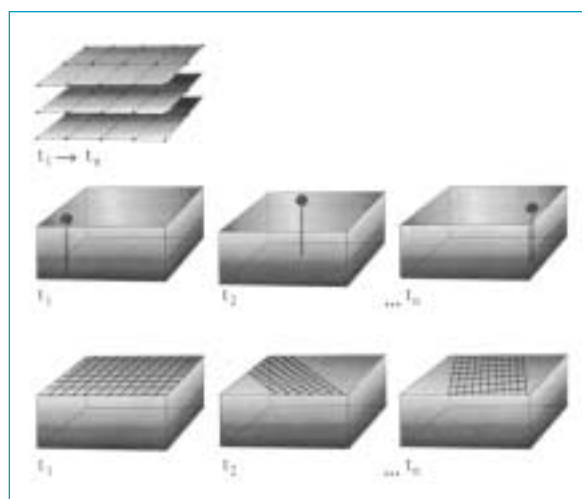


Fig. 1 – As quatro dimensões dos dados georeferenciados do meio marinho (diversas perspectivas, segundo Lucas, 1999)

<sup>1</sup> Neste contexto, quadri-dimensional significa que uma determinada grandeza  $Q$  varia tanto no espaço como no tempo ( $Q = f(x,y,z,t)$ ).



De facto, torna-se bastante difícil representar directamente estes tipos de dados, sem mencionar as visualizações que os investigadores do meio marinho mais habitualmente utilizam, num SIG comercial desenhado para satisfazer modelos bidimensionais<sup>2</sup>.

Finalmente, o desenvolvimento dum SIG pressupõe a existência de cartografia de base com qualidade, sobre a qual se possam estender os vários temas específicos a cada aplicação. Este requisito está, à partida, satisfeito no SIGAMAR, pois os seus dados cartográficos são oriundos dos produtos digitais preparados pela secção de Cartografia Assistida por Computador do IH; como estes produtos são realizados recorrendo a um conjunto de ferramentas do ambiente CARIS (utilizado no IH para a produção cartográfica), e pelas razões acima explicadas, tornou-se conclusão quase natural que o desenvolvimento do SIGAMAR deveria ter lugar no IH, utilizando recursos e conhecimentos internos, por forma a melhor poder contornar as dificuldades geralmente encontradas nos SIG marinhos e a rentabilizar a cartografia e os dados patrimoniais do IH.

## Bases de dados

Uma componente essencial dos sistemas de informação de índole geográfica é a base de dados que lhes serve de suporte. O conceito actual de base de dados inclui não só os dados propriamente ditos mas também a máquina, ou máquinas, onde eles residem, as estruturas lógicas e físicas que lhes servem de repositório, os ficheiros de controlo e gestão dos dados, as aplicações que permitem a consulta e edição dos dados e ainda o sistema gestor de todo este conjunto.

O IH possui, já há alguns anos, um Sistema Gestor de Bases de Dados Relacionais (SGBDR) Oracle, com o objectivo de nele albergar toda a informação ambiental patrimonial. Este sistema tem, entre outras funcionalidades, uma opção que lhe permite armazenar dados de natureza espacial. A vantagem deste sistema relativamente a outros semelhantes, equacionados aquando da sua aquisição, é o facto do desenvolvimento do motor espacial da base de dados ter sido inicialmente efectuado

com base em conceitos não completamente estranhos no IH, numa altura em que o Instituto mantinha oficiais em formação no Canadá.

De facto, a capacidade da base de dados em armazenar dados espaciais constitui, hoje em dia, um requisito importante das bases de dados para SIGs e foi, desde o início, uma preocupação no desenvolvimento do SIGAMAR. Após ter sido reconhecido que o elo comum a todos os dados ambientais patrimoniais é a sua localização geográfica, foi assim dada atenção especial à modelação da componente espacial dos dados por forma a poder tirar partido das possibilidades do SGBDR.

A concepção das bases de dados no IH assenta em duas hipóteses: a primeira é a divisão lógica da actividade do Instituto por áreas funcionais, onde cada área corresponde a um determinado tipo de dado (fig. 2). Note-se que nem sempre estas áreas funcionais têm equivalência com secções ou divisões organizacionais do IH, por haver, nalguns casos, diferentes secções ou divisões que, em fases distintas da vida útil de um tipo de dado, têm algo a ver com ele.

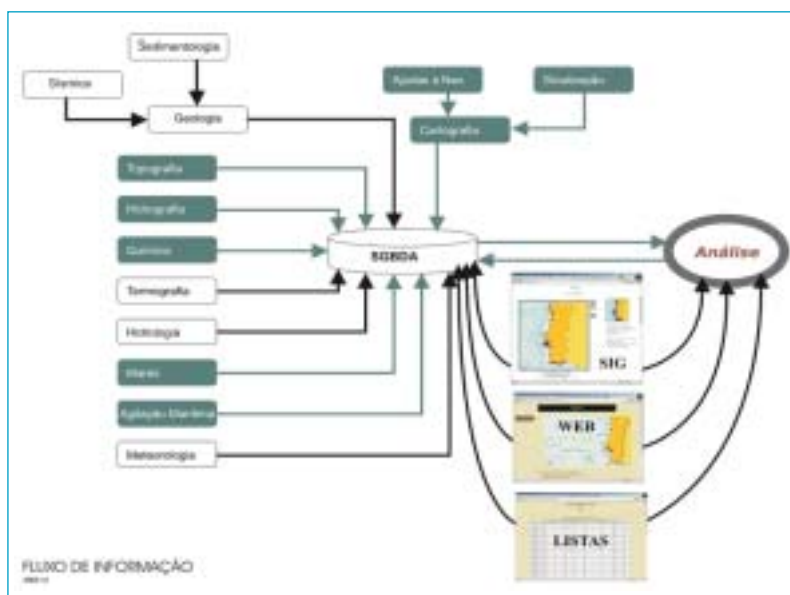


Fig. 2 – As áreas funcionais do IH com os seus fluxos de informação (situação referida a Julho de 2001)

A segunda hipótese é a manutenção da responsabilidade de edição de dados nos seus produtores directos. A utilização de uma aplicação de bases de dados, do tipo cliente-servidor, onde os dados são armazenados e mantidos num sistema central, não implica forçosamente que a responsabilidade pela qualidade dos dados inseridos na base seja transferida para a entidade que mantém o sistema central. Esta ideia foi seguida no SIGAMAR, de tal forma que a entidade que mantém o SGBDR<sup>3</sup> se

<sup>2</sup> Num modelo bidimensional, uma grandeza  $Q$  é descrita como função de duas dimensões, apenas ( $Q = f(x,y)$ );  $Q$  pode ser a terceira dimensão – elevação do terreno, por exemplo. Este é o modelo mais facilmente representável em SIG e o mais usualmente encontrado nos SIG comerciais.

<sup>3</sup> Actualmente, esta tarefa é desempenhada pelo Centro de Dados Técnico-Científicos.

limita a conceber e a desenvolver as bases de dados e respectivas aplicações, mantendo-se nos produtores de cada tipo de dado a sua «posse» e direitos de edição, bem como a execução das tarefas preparatórias de pré-processamento, validação, controlo da qualidade e finalmente, inserção na respectiva componente da base de dados.

As hipóteses acima indicadas permitem, salvo melhor opinião, conceber as bases de dados tirando partido das seguintes vantagens:

- O pré-processamento, a validação e o controlo da qualidade dos dados inseridos são executados pelos técnicos ou cientistas que mais directa e habitualmente com eles lidam, aproveitando ao máximo a sua vasta experiência na fase de tratamento dos dados;
- Existência num repositório central de vários conjuntos de dados reconhecidamente de alta qualidade;
- Concentração das tarefas de arquivo e de segurança dos dados na entidade que mantém o sistema central;
- Maximização do tempo útil para desenvolvimento de novas aplicações e manutenção das existentes.

No que se refere à máquina servidora das bases de dados ORACLE, ela foi pensada e dimensionada para receber, de facto, três grandes conjuntos de bases de dados. O primeiro conjunto designa-se por «repositório de desenvolvimento» e é constituído pelo conjunto de tabelas do sistema de concepção, desenho e geração de aplicações<sup>4</sup> *Oracle Designer*, em uso no IH. Neste repositório ficam guardados todos os elementos que resultam da análise dos sistemas que vão sendo modelados em cada área funcional, bem como detalhes de cada aplicação.

Os outros dois conjuntos de bases de dados são constituídos pelas bases de dados de ensaio (ambiente de desenvolvimento) e de operação (ambiente de produção). Cada aplicação é primeiro criada no ambiente de desenvolvimento, onde sofre todas as validações necessárias ao seu correcto funcionamento, com o apoio do utilizador final; após se atingir um estado de desenvolvimento correspondente a uma versão final, a aplicação é copiada para o ambiente de produção e entregue ao utilizador, passando a trabalhar com dados reais.

Durante a curta vida do SIGAMAR houve já necessidade de expandir a máquina servidora, face ao crescimento que se verificou na utilização das bases de dados a partir do terceiro ano do projecto e às novas perspectivas de utilização. Assim, passou-se dum antigo servidor UNIX herdado da extinta Divisão de Cartografia

para um moderno servidor multi-processorador Intel WinNT/2000, com elevada capacidade de expansão e vocacionado para albergar motores de bases de dados associadas a sistemas de cópia de segurança de alta fiabilidade.

O método de desenvolvimento aplicacional adoptado no IH é conhecido por “desenvolvimento em espiral”. Neste método, existe uma fase inicial de análise em que intervêm tanto o pessoal afecto ao desenvolvimento como o utilizador ou utilizadores finais da aplicação; aqui, pretende-se coligir o máximo possível de informação sobre a finalidade da aplicação, os objectos que a deverão compor e as relações entre eles. Idealmente, esta fase termina com um conjunto de objectivos e de especificações que se deverão manter inalterados até ao fim do desenvolvimento. Começa depois uma fase de análise mais detalhada para decompor todos os objectos e todas as funcionalidades da nova aplicação nos seus elementos mais indivisíveis, sempre em colaboração com o utilizador.

Depois da análise, dá-se início ao processo de desenvolvimento; são desenhadas e construídas as tabelas da futura base de dados e as funções (ecrãs, relatórios, gráficos, rotinas e subrotinas, etc.) que permitem a edição dos dados. Num dado ponto chega-se a um protótipo da aplicação que é testado e validado junto do utilizador. Caso não estejam ainda satisfeitos os requisitos da aplicação, o desenvolvimento prossegue, aperfeiçoando-se sucessivamente o protótipo até à versão final.

Como é notório, em todas as fases do método existe um envolvimento, maior ou menor, do utilizador. É precisamente neste ponto que se notam as principais dificuldades no desenvolvimento, devidas fundamentalmente ao facto de existir, nalgumas áreas funcionais, uma grande rotatividade ou escassez de pessoal, aliada a uma certa indefinição de atribuições e de procedimentos, que obriga a uma constante redefinição dos requisitos e das especificações da aplicação consoante o interlocutor; este facto está na génese da impossibilidade, que se verifica no IH, de se «congelarem» os requisitos e especificações das aplicações, o que acarreta bastantes transtornos para a análise e desenvolvimento, traduzindo-se essencialmente na sua morosidade.

Não obstante, este método tem sido aplicado com sucesso nas áreas que na fig. 2 surgem a verde (referidas a Julho de 2001). À data da elaboração deste artigo existem mais algumas áreas em tratamento.

Verifica-se, por outro lado, que a utilização das bases de dados tem estado aquém do que é desejável, isto é, enquanto que nalguns sectores tem havido um forte empenho no carregamento das bases de dados, noutras esta actividade ou não é executada ou apenas o é episodicamente, o que acaba por ter consequências no eficaz aproveitamento dos dados patrimoniais do IH pois não é possível alimentar o passo seguinte da cadeia do SIG: a visualização e exploração dos dados.

<sup>4</sup> Estes sistemas são mais conhecidos pela designação inglesa CASE – *Computer-Aided Software Engineering*.

## Visualização e exploração dos dados em SIG

O aproveitamento racional e eficaz dos dados georeferenciados<sup>5</sup> introduzidos nas bases de dados é feito, por excelência e como foi já anteriormente afirmado, num Sistema de Informação Geográfica. Foi explicado no que antecede que o IH possui os dois requisitos básicos de um SIG: cartografia de base de qualidade e um bom conjunto de bases de dados geograficamente referenciados.

A concepção inicial do SIGAMAR previa uma forte componente de exploração e de visualização assente sobre a mesma plataforma de produção cartográfica (CARIS). Para isto se contava com a capacidade sobran-te deste sistema para, devidamente configurado e programado, poder funcionar como SIG ou, no mínimo, nele poderem ser criadas aplicações que assim funcionassem, desta forma satisfazendo e dando resposta às especificidades dos dados sobre o meio marinho. Contudo, verificou-se que o desenvolvimento de aplicações SIG em CARIS assumiu contornos praticamente intransponíveis quanto à sua exequibilidade, dado o estado bastante incipiente das ferramentas de desenvolvimento disponibilizadas pela CARIS, pelo que esta opção foi abandonada.

Entretanto, registaram-se progressos bastantes significativos nalguns *software* SIG comerciais. De facto, com o decorrer do tempo, a indefinição da arquitectura e os problemas de uni-vocação dos ambientes SIG foram sendo resolvidos, melhor ou pior, de tal modo que em alguns dos SIG comercialmente disponíveis estão criadas arquitecturas e plataformas de trabalho muito interessantes, com aplicação mais ou menos imediata no ambiente marinho. Paralelamente, houve um investimento forte do IH na formação de pessoal na área das bases de dados e ambientes SIG, com exploração em carta electrónica de navegação<sup>6</sup> ou outras aplicações geográficas.

<sup>5</sup> Ou seja, no contexto deste artigo, referidos a um local sobre a superfície da Terra.

<sup>6</sup> Sendo a carta electrónica de navegação (CENO), ela própria, um SIG particularmente destinado à condução da navegação.

Tal é o caso do software desenvolvido pela firma ESRI<sup>7</sup>, cuja arquitectura SIG recebe o nome de *ArcGIS*. Neste conjunto aplicacional, a arquitectura escolhida vem particularmente ao encontro das opções estratégicas que foram sendo efectuadas no desenvolvimento do SIGAMAR, dando assim resposta cabal às necessidades de exploração e de visualização da informação patrimonial carregada nas bases de dados. Estas opções agrupam-se em torno das seguintes linhas de acção:

- Separação dos dados em bases de dados espaciais com o novo conceito espacial ORACLE (baseado em camadas de informação);
- Disponibilização de informação via cliente universal (*WEB client*).

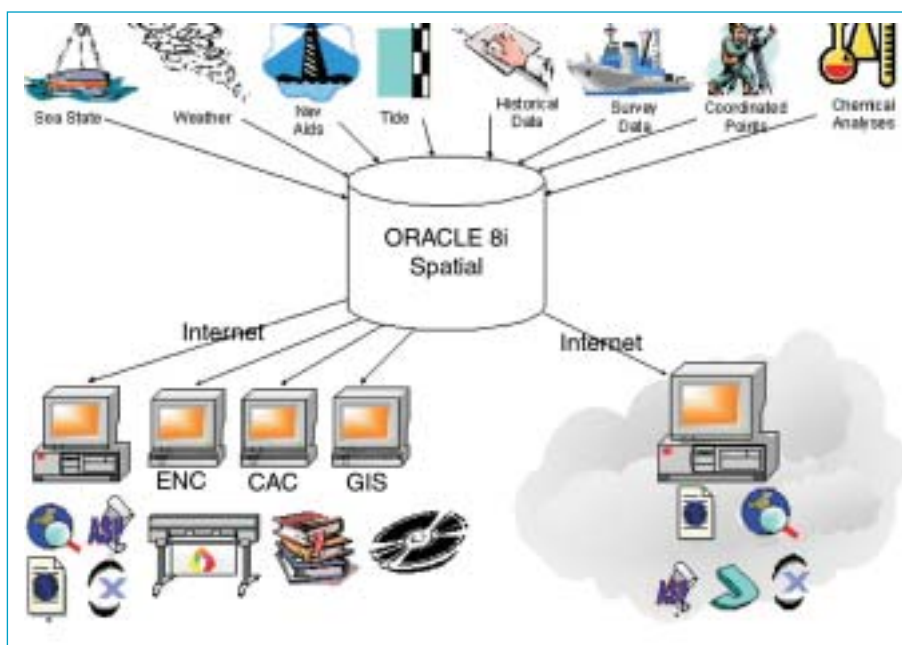


Fig. 3 – Proposta de exploração de dados no IH (Pacheco et al., 2001)

De uma forma geral, a exploração da informação que o IH vai adquirindo pode ser efectuada recorrendo a várias possibilidades oferecidas pelo SIG, tal como está patente na fig. 3. Na figura podem notar-se duas formas de exploração dos dados adquiridos através de vários sistemas, que se distinguem pelo ambiente de exploração: Intranet (de acesso livre, interna ao IH) ou Internet (de acesso mais restrito, pelo público em geral, através da página *WEB* institucional).

A diferença que é necessário marcar entre estes dois ambientes de exploração deve-se, naturalmente, ao carácter reservado que alguns dos dados têm, bem como os produtos neles baseados, mas também devido aos custos do licenciamento de *software* necessário para uma rede interna e para uma rede pública diferirem pre-

<sup>7</sup> ESRI – Environmental Systems Research Institute.

cisamente neste aspecto, sendo que o custo do licenciamento para utilização na rede Internet é várias ordens de grandeza superior ao da rede interna. Assim, torna-se necessário e mais vantajoso recorrer a *software* de utilização livre em ambientes Internet. Por outro lado, é igualmente necessário ter em conta as velocidades de acesso normalmente disponíveis numa e noutra rede, usualmente mais lentas na Internet, o que leva à criação de produtos e formas de disponibilização de dados mais leves e mais rápidos neste ambiente.

Idealmente, mais tarde ou mais cedo, todos os dados dariam entrada, após validação e seguindo a sequência descrita na secção anterior, na respectiva componente da base de dados «Oracle 8i Spatial» correspondente à sua área funcional. A partir desse momento, os dados ficam disponíveis para um leque bastante vasto de possibilidades de exploração, todas elas baseadas na consulta instantânea ou diferida à base de dados.

No que se refere ao ambiente Intranet, as possibilidades de exploração incluem desde as linhas de produção cartográfica, que utilizam os dados hidrográficos e objectos cartográficos da base de dados, até às páginas da Intranet dedicadas às consultas universais de dados ou informação armazenada, como é o caso actual das previsões de alturas de maré ou de dados das estações ondógrafo. Ainda no ambiente Intranet, oferecem-se em regime de utilização livre algumas aplicações ArcGIS que permitem explorar a base de dados espacial consoante as preferências de cada utilizador, através de duas aplicações de nível mais baixo que servem de *interface* entre os clientes Intranet e a base de dados: o ArcIMS (*Internet Map Server*) e o ArcSDE (*Spatial Data Engine*). Estas duas aplicações funcionam de forma transparente para o utilizador e colocam à sua disposição diferentes vistas e opções de cruzamento e exploração dos dados da base. Paralelamente, a entidade responsável pela manutenção do SIG tem a faculdade de programar e criar pequenas aplicações adicionais que permitem cobrir aspectos mais específicos da visualização ou da exploração de dados, com recurso a ferramentas de desenvolvimento de alto nível (*Microsoft Visual Basic*, por exemplo<sup>8</sup>). Este esquema de funcionamento está, naturalmente, sujeito às regras de acesso e restrições de segurança impostas sobre os dados pelos seus produtores.

No ambiente Internet as possibilidades de exploração são mais limitadas, pelas razões anteriormente expostas e ainda pelo facto de, no IH como em todas as unidades da Marinha, existir independência física entre as duas redes (pública e privada). Esta separação levou à

criação (e licenciamento e manutenção do respectivo SGBDR) duma base de dados Oracle, designada por «pública», onde existe uma réplica da parte das bases de dados internas que é susceptível de divulgação pública. Por exemplo, a base de dados pública contém uma parte do modelo de dados das marés, com o intuito de albergar as previsões de alturas de maré que são publicadas na página institucional do IH na Internet, não contendo a parte do modelo de dados que trata da informação referente às constantes harmónicas, que são de divulgação restrita. Deste modo, a informação disponível do lado público da base de dados pode ser considerada como de «livre acesso»<sup>9</sup>, o que é de facto uma realidade num ambiente inseguro como é o da Internet, sem que tal afecte a segurança dos dados de acesso reservado.

Na rede pública, a exploração de dados é realizada de diversas formas mais modestas, com recurso a produtos preparados expressamente para o efeito ou mediante a utilização de *interfaces* de consulta às bases de dados públicas desenhadas especificamente para utilização na Internet, sempre com um mínimo de requisitos de licenciamento no servidor e de carga de processamento e de comunicações no cliente. Para efeitos deste género, existem disponíveis ferramentas que utilizam formatos da ESRI, ou seja, que podem ser utilizadas na rede interna para criação de produtos de uso na rede externa, sendo ainda viável programar directamente as páginas *WEB* com outras linguagens que suportem directamente consulta às bases de dados (*Active Server Pages, Java, Javascript*, etc.).

Ainda no que se refere à exploração dos dados na Internet, o IH tem vindo a aceitar que servidores *WEB* de terceiros se liguem remotamente ao servidor de bases de dados públicas, por forma a que aqueles possam obter a informação de que necessitam para disponibilização nas suas páginas, fazendo referência à fonte. Tal foi o sucedido com o portal *MySkypper*, da Nautinet, que está a construir uma página de previsão de alturas de maré com consulta directa ao servidor do IH, bem como o caso do portal do jornal *Público*, que manifestou intenções semelhantes mas com recurso ao padrão XML<sup>10</sup> para a transferência de dados.

## Conclusões

Foram descritas neste artigo as opções do IH para o tratamento dos dados patrimoniais. Em suma, pretende-se que a aposta nas tecnologias de bases de dados vocacionadas para a exploração em ambiente de Sistema de Informação Geográfica e, simultaneamente, para suportar as actividades produtivas do IH, se mantenha e se reforce.

<sup>8</sup> Procedimento já adoptado para a criação de gráficos de visualização das séries temporais de análises químicas do programa de Vigilância da Qualidade do Meio Marinho.

<sup>9</sup> Leia-se «perdida» ou «sem controlo de acesso».

<sup>10</sup> XML – *eXtended Markup Language*, proposta pela Microsoft, está a tornar-se um padrão para transferência de dados na Internet.

Como foi exposto, a estrutura das bases de dados que têm estado a ser desenvolvidas e o investimento efectuado e previsto na área das ferramentas de exploração e visualização possuem um elevado potencial para o eficaz aproveitamento da informação patrimonial; no entanto, este aproveitamento passa pelo empenhamento de todos os utilizadores no efectivo uso das bases de dados e das respectivas aplicações. Existe, assim, um esforço de formação e de consciencialização da comunidade de utilizadores no IH que, embora esteja em curso, não deu ainda resultados apreciáveis, com uma ou outra excepção.

De facto, todas as possibilidades de exploração e de visualização que foram descritas nas secções antecedentes partem do pressuposto que as bases de dados estão carregadas com a informação pertinente de cada área funcional, tarefa que compete aos utilizadores de cada área, com o apoio da entidade gestora sempre que necessário ou adequado. Quanto mais informação estiver carregada, mais amplas e mais numerosas são as possibilidades de cruzamento de informação e de criação de conhecimento, o que constitui, julga-se, o maior incentivo para quem lida diariamente com a investigação no meio marinho.

## Referências

- ABREU, Manuel P.; e CHUMBINHO, Rogério A., «O Sistema de Informação Geográfica sobre o Ambiente Marinho (SIGAMAR)», *Anais do Clube Militar Naval*, vol. CXXVI, Julho-Setembro, 1996.
- BARTLETT, Darius J., «Working on the Frontiers of Science: Applying GIS to the Coastal Zone», *Marine and Coastal Geographical Information Systems*, Taylor and Francis, 1999.
- LUCAS, Anne, «Representation of Variability in Marine Environmental Data», *Marine and Coastal Geographical Information Systems*, Taylor and Francis, 1999.
- PACHECO, M.; CHUMBINHO, R.; e PALMA, C., «Hydrographic Survey Planning and Environmental Monitoring using Arcview GIS», *Proceedings of the 16<sup>th</sup> ESRI EMEA User Conference*, Lisboa, Outubro 2001.

# Rapid Environmental Assessment (REA)

Mesquita Onofre

PRIMEIRO-TENENTE

**Resumo** *Rapid Environmental Assessment (REA)* é uma metodologia que está a ser implementada com o objectivo de melhorar o conhecimento ambiental e fornecer informação num período de tempo compatível com as operações táticas. A recolha de dados para o REA está otimizada para requisitos operacionais em vez de fornecer uma descrição científica exaustiva. Isto requer uma mudança de atitude face às previsões ambientais, deixando de se trabalhar em modelos numéricos de grande escala para se trabalhar no chamado *nowcasting* usando informação oceanográfica e meteorológica recolhida no local. O esforço é feito com base numa boa organização, ferramentas para processamento de dados rápidas e comunicações de dados eficazes. A distribuição e processamento dos dados é feita num centro de fusão de dados através de uma rede do tipo Internet.

Ao re-orientar a meteorologia e oceanografia tática para uma era pós-Guerra Fria, a Marinha Portuguesa vai gradualmente adoptando o conceito REA para suporte tático de um comando operacional, ou apoiando forças navais em operações no mar.

Ao mesmo tempo que se melhora o desempenho do REA, é também necessário desenvolver instrumentação específica, por forma a disponibilizar os dados da forma mais rápida possível. Novos métodos vão reduzir o tempo de recolha de dados. É necessário treinar os conceitos, técnicas e procedimentos nos exercícios REA que possam estar ligados ou não a operações militares. O exercício *Swordfish 2001* é aqui descrito como um exemplo de um esforço REA para apoio a uma operação militar.

**Abstract** *Rapid Environmental Assessment (REA) is a methodology that is being implemented in order to close knowledge gaps and to provide useful environmental information in a tactically relevant time frame. REA surveys are set up for operational needs rather than to give a full scientific picture. This requires a shift in emphasis from large scale, predictive, numerical models to «nowcasting», quick reaction surveys, direct exploitation of remote and in situ observations, innovative processing techniques for satellite data, and through-the-sensor environmental measurements. Emphasis is on an optimal organizational structure, fast data processing tools and modern data communication channels. Distributed data processing and product generation is complemented by a particular data fusion center in an Internet-like network.*

*In re-orienting tactical meteorology and oceanography for the post-Cold War era, the Portuguese Navy is turning increasingly to REA for tactical support of both operational commanders and individual forces at sea.*

*Specific instrumentation for REA is developed under the premise of immediate data availability. New scientific methods will reduce the time spent for data collection. Techniques, concepts and procedures must be tested, trained and developed in REA exercises that may or may not be connected with military exercises. The Swordfish 2001 exercise is described as example for extensive REA effort to use in a military operation.*

## 1. Introdução

O estudo da meteorologia e da oceanografia para aplicação em operações militares tem sido uma das principais preocupações da NATO. Deste modo surgiu o conceito de *Rapid Environmental Assessment (REA)* para apoio tático a comandos operacionais e unidades navais no mar. Esta nova filosofia obrigou a uma mudança dos métodos de previsão ambiental, por forma a torná-los mais efectivos e rápidos, com recurso a uma grande quantidade de dados recolhidos *in situ*, observações de satélite e com todos os outros sensores que estejam disponíveis na área de operações. Uma das prioridades dadas a este tipo de

trabalho foi o desenvolvimento de métodos de processamento sofisticados, recorrendo a modelos com grande capacidade de cálculo e fiabilidade. Ao mesmo tempo que a tecnologia é desenvolvida, é também necessário criar as infra-estruturas computacionais e de comunicações, para a rápida transmissão da informação pelas diversas unidades combatentes.

A oceanografia é responsável por compreender os efeitos do ambiente no planeamento e execução das operações navais e interpretar o impacto dos fenómenos oceânicos numa força naval. Os principais objectivos da oceanografia militar são em primeiro lugar, assegurar a segurança da força naval em caso de condições ambientais adversas e, em segundo lugar, fornecer às unidades

combatentes uma vantagem táctica decisiva, ao permitir otimizar o emprego de uma plataforma, sensor ou arma perante determinadas condições ambientais.

O conhecimento do ambiente é uma condição necessária para o estabelecimento da táctica naval e o uso correcto dos sistemas de combate. Ter informação actual acerca do oceano nem sempre é possível e por esse motivo foi criado o REA, que permite a consolidação da informação ambiental, num intervalo de tempo compatível com a condução de operações navais. A recolha de dados para o REA necessita de um planeamento detalhado de acordo com os objectivos das operações navais, por forma a rapidamente construir produtos úteis para a força.

A criação de um centro de fusão de dados torna-se essencial para o processamento de grandes quantidades de informação e rápido envio da informação, ao centralizar a maioria dos cálculos num só local. Apoios adicionais poderão ser fornecidos por outros centros, mas todos integrados numa filosofia de rede por forma a minimizar o tempo de troca de informação.

Os cenários estratégicos actuais modificaram-se com o fim da Guerra Fria e actualmente existe necessidade de realizar operações em pequena escala junto a zonas costeiras pouco conhecidas. Nestes locais as condições oceanográficas são muito mais dinâmicas do que numa zona oceânica, onde a variabilidade é muito menor. Este aspecto levou à criação do conceito de REA, com o objectivo de fornecer à força naval uma actualização rápida da dinâmica oceânica, por forma a otimizar as operações navais em curso.

## 2. Componentes da organização REA

A organização REA é activada sempre que é necessário recolher informação ambiental de uma determinada área que não esteja disponível através dos canais usuais de previsão, ou sempre que se considerar relevante para a condução de operações navais. A primeira

tarefa do pessoal participante no REA, é o recolher toda a informação que existe nas bases de dados de diversos centros de investigação que se dedicam ao estudo da área de interesse. Após análise desta primeira informação é estabelecido um centro de fusão de dados e, desde logo, avalia-se a necessidade de emprego de plataformas para recolher dados *in situ*. Os locais de eleição para a instalação de um centro de fusão de dados serão os serviços de hidrografia e oceanografia, comandos operacionais em terra ou locais com boa capacidade de instalar redes de comunicações.

A recolha de dados *in situ* pode recorrer a diversas plataformas dependendo do tipo de dados que se pretende obter e da segurança da área em questão. Para esta missão recorre-se a navios, aéreos, submarinos, satélites, veículos autónomos aéreos ou submarinos ou forças especiais a operar no terreno. A missão do centro de fusão de dados é o de recolher toda a informação das mais diversas origens e produzir produtos úteis para a força de acordo com o conceito de oceanografia operacional descrito na fig. 1.

O objectivo do Centro de Fusão de Dados (fig.2), é o de processar todos os dados provenientes das mais diversas fontes e produzir informação útil ao desenrolar das operações navais. Esta informação deverá ser processada no mínimo tempo necessário e difundida pela força rapidamente, pelo que é necessário a existência de boas comunicações. Para otimizar o tempo, é fundamental que todas as plataformas intervenientes bem como outros centros de apoio envolvidos, trabalhem os dados digitais obtidos num formato idêntico, para que o centro de fusão de dados faça apenas o trabalho de modelação e assim evitar todo o trabalho de compatibilização dos dados.

A segurança das comunicações é muito importante neste tipo de operações e poderá ser necessário disponibilizar dados classificados nesta rede de informação. Durante o exercício *Swordfish2001* realizado em águas nacionais, o apoio REA foi realizado com recurso à Internet. No entanto, esta não é segura para transmitir



Fig. 1 – Organização do conceito de oceanografia operacional

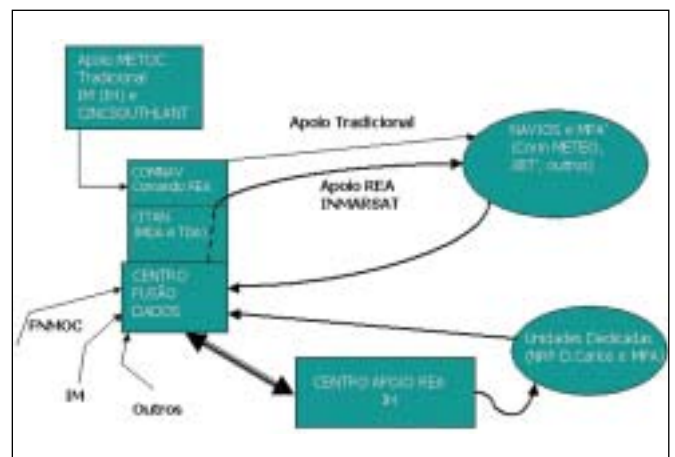


Fig. 2 – Organização REA durante o exercício SWORDFISH2001

dados classificados e por isso mesmo, foram apenas disponibilizados dados não classificados para a força naval. Para a transmissão de dados classificados será necessário recorrer a redes de comunicações seguras, criptografadas, como existe actualmente na NATO.

O *hardware* e o *software* para transmissão de dados é bastante ligeiro, para permitir a integração de vários sistemas e versões, instaladas nas diversas máquinas envolvidas no processamento e consulta da informação. Tratando-se de dados não classificados, o sistema simplifica-se, pois qualquer *browser* da Internet permite difundir e aceder aos dados, evitando o uso de complexos sistemas de segurança.

Durante uma operação os dados podem chegar a qualquer hora ao Centro de Fusão de Dados. O sistema usado para transmissão desta informação é o ftp ou e-mail, que permite receber ou transmitir ficheiros 24 horas por dia, bastando definir uma lista de pessoas ou centros autorizados a manipular e gravar informação no Centro de Fusão de Dados. A autorização para colocação de ficheiros no servidor do centro que se encontra atrás de uma *firewall*, pode ser dada através da atribuição de um *username* ou através do reconhecimento do endereço IP da máquina.

A importância do Centro de Fusão de Dados deve-se ao facto de que um produto ambiental requerido pelo comando, pode ser uma combinação de dados de diferentes origens. Consideremos, por exemplo, a previsão de rebentação numa praia. A ondulação é gerada longe e pode estar disponível através de uma imagem de satélite. Para calcular a refração da ondulação é fundamental uma boa informação de batimetria, e o vento tem que ser tomado em consideração podendo ser necessário recorrer a outra fonte de informação. Neste exemplo, pode ser necessário recorrer a diversas entidades, que possuem diferentes dados, pelo que o Centro de Fusão de Dados deverá processar e combinar toda a informação.

Durante uma operação REA, a quantidade de dados está sempre a aumentar com o decorrer das operações. O Centro de Fusão de Dados é responsável por fornecer as previsões do modo mais simples e rápido que for possível. A informação só pode ser difundida rapidamente entre os diversos participantes, se estiver armazenada em formato electrónico. O uso da Internet ou um sistema semelhante é o mais adequado nesta situação, pois permite uma rápida consulta da informação dependendo da velocidade de acesso dos vários participantes.

Ao contrário do Centro de Fusão de Dados, os comandantes das forças no terreno procuram obter informação de uma forma condensada. Assim, a informação deverá estar disponível de uma forma sucinta e focada apenas no assunto de interesse, dispensando detalhes que só interessam a quem está a fazer as previsões. Isto irá permitir ao comando das forças ter uma ideia do ambiente e suas implicações nas operações, gastando o menor tempo possível na consulta da informação.

### 3. Classificação REA

As operações REA são compostas por quatro fases.

D - 6 meses	D - 15 dias	Exercício
Categoria I REA	Categoria II REA	REA Operacional

A categoria I compreende a fase de recolha de dados climatológicos, por forma a caracterizar a zona onde está a ser planeado o desenrolar das operações. Esta fase antecede os operações em cerca de um a dois meses dependendo da complexidade da área. Pode em casos extremos, de grande falta de informação, atingir seis meses de duração.

Esta fase destina-se a compilar toda a informação disponível por forma a acertar e inicializar os modelos necessários aos produtos pedidos pelas forças. Toda a informação nesta fase tem origem climatológica. Após a recolha de toda a informação sobre a área de interesse é fornecido a todas as forças envolvidas, um resumo da informação com a caracterização dos impactos esperados, normalmente em formato CD-ROM, que servirá como primeiro contacto das forças sobre as condições ambientais a esperar. Este documento tem a designação de *Environment Briefing Document* (EBD).

A categoria II compreende já a recolha de alguma informação no local e antecede imediatamente o início das operações. Esta fase serve para ajustar os modelos com dados reais, de modo a produzirem previsões de grande rigor para as forças no terreno. Os dados podem ser obtidos com uma grande variedade de sensores e plataformas, dependendo da ameaça no local, podendo ser navios, submarinos, aéreos tripulados e não tripulados, forças especiais de reconhecimento, satélites e outros.

A partir daqui entramos na chamada fase operacional onde já decorrem operações no terreno. Dependendo das condições do local pode-se optar por um REA de categoria III ou IV. O REA de categoria III é o chamado REA *couvert*, usado quando as condições do teatro de operações são muito hostis, não permitindo o emprego de sensores convencionais para recolha deste tipo de dados. Neste caso, existe uma menor quantidade de dados disponíveis, provenientes apenas de forças especiais, satélites, submarinos ou veículos autónomos que não ponham em risco a segurança do pessoal envolvido. É necessário ter em conta que o emprego de um navio oceanográfico para recolher dados pode ser problemático em determinadas situações, pois trata-se de uma plataforma sem defesa própria necessitando de uma escolta apertada. Nesta situação opta-se por recolher dados com outro tipo de sensores que passam despercebidos ou não acarretam perigo para o pessoal face a forças hostis.



Sempre que uma área for considerada segura, opta-se por um REA de categoria IV onde se pode empregar uma grande variedade de sensores de uma forma segura e permitindo fornecer previsões de elevado rigor científico. Na figura 3 pode ver-se um esquema sucinto de toda a organização de uma operação REA e tipo de dados e sensores envolvidos.

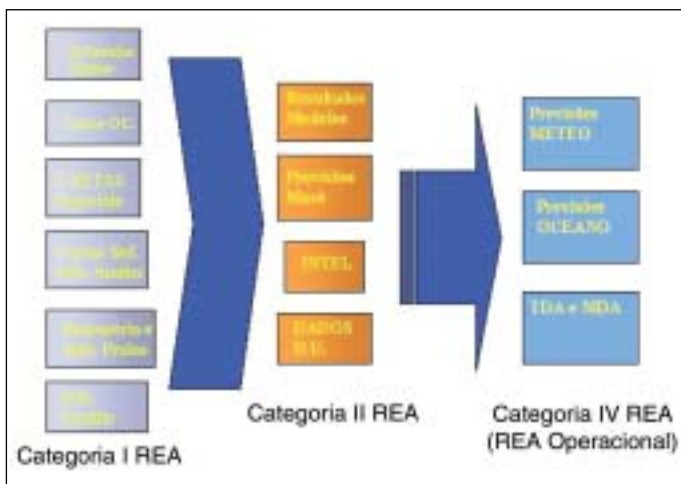


Fig. 3 – Organização REA

#### 4. Produtos REA

Actualmente as operações navais junto a zonas costeiras aumentam de importância. Estas zonas são extremamente complexas devido à grande variedade de fenómenos associados, tornando a previsão muito mais complexa em relação a zonas oceânicas. Uma nova geração de modelos e algoritmos surgiu para fazer face a estes novos cenários, onde a assimilação de dados é fundamental, numa escala temporal e espacial compatível com a área de operações.

Os comandantes das forças exigem hoje em dia uma mais detalhada caracterização da zona de operações, a uma escala temporal e espacial compatível com as zonas costeiras. Existe um menor interesse em previsões sinóticas de longo período, mas aumenta o interesse sobre o conhecimento em detalhe, da previsão sobre um certo local num determinado dia. Isto leva a que as previsões tenham em conta as operações que se estão a realizar, passando a estar também ao nível tático e ser um factor determinante para o planeamento das operações.

Esta é a essência do REA. Contém informação meteorológica e oceanográfica detalhada sobre uma área bastante limitada, orientado para o emprego de certos meios militares e tipo de operações.

O Instituto Hidrográfico tem participado em exercícios militares, (*Linked Seas 2000* e *Swordfish 2001*), tendo o seu pessoal guarnecido o Centro de Fusão de Dados durante o *Swordfish2001*. Os produtos REA a

fornecer durante as operações, são definidos conforme os objectivos e tipo de forças a empregar, permitindo assim focar as previsões num determinado objectivo.

#### a) Tactical Decision Aid (TDA)

Este produto é o mais simples e eficiente que está disponível às forças combatentes. Trata-se de uma compilação de toda a informação apresentada numa tabela de luzes, que permite um rápido acesso aos vários impactos ambientais nos diversos sensores e plataformas. Este produto destina-se a permitir ao nível tático o planeamento das operações e avaliação dos impactos sobre as plataformas e sensores (fig. 4).

SWORDFISH MISSION IMPACT DIAGRAM						
DATE	MON 02 APRIL		TUE 03 APRIL		WED 04 APRIL	
	00	12	00	12	00	12
AAW	WSVLO00	WSVLO00	WSVLO00	WSVLO00	WSVLO00	WSVLO00
UWW						
ASuW						
Personnel	FFB	FFB	FFB	FFB	FFB	FFB
Helo	WSVLO00	CL000	WSVLO00	CL000	WSVLO00	CL000
MPA	kingTab	kingTab	kingTab	kingTab	kingTab	kingTab
RAS						
	SEVERE	MODERATE	MODERATE	MODERATE	SEVERE	SEVERE
AAW (CINW)						
UWW						
ASuW						
Personnel						
Helo (CINW)						
MPA						
RAS						

Fig. 4 – Exemplo de uma Tactical Decision Aid (TDA)

A análise desta tabela permite um rápido conhecimento das limitações operacionais provocadas pelas condições ambientais. De notar que as cores podem ser verde (*slight*), amarela (*moderate*) ou vermelha (*severe*), estando a sua descodificação na parte inferior da tabela. Os valores da descodificação não são apresentados nesta tabela, pois trata-se de informação classificada, devido a mostrar as capacidades de um certo sensor ou de uma determinada plataforma. Esta tabela mostra o impacto das operações AAW, UWW, ASuW, MPA, RAS e Helo, mas pode ter o impacto de muitas outras operações desde que exista a chave da descodificação das cores.

#### b) Apoio tradicional

Este apoio, como o nome indica, é o apoio tradicional em termos de meteorologia e ondulação. O Centro de Fusão de Dados recebe os dados das mais diversas origens, processa e produz imagens com a informação disponível da forma mais fácil possível, tendo como preocupação a construção de imagens pequenas, por forma a garantir um acesso rápido. Um exemplo deste tipo de informação é mostrado na fig. 5.

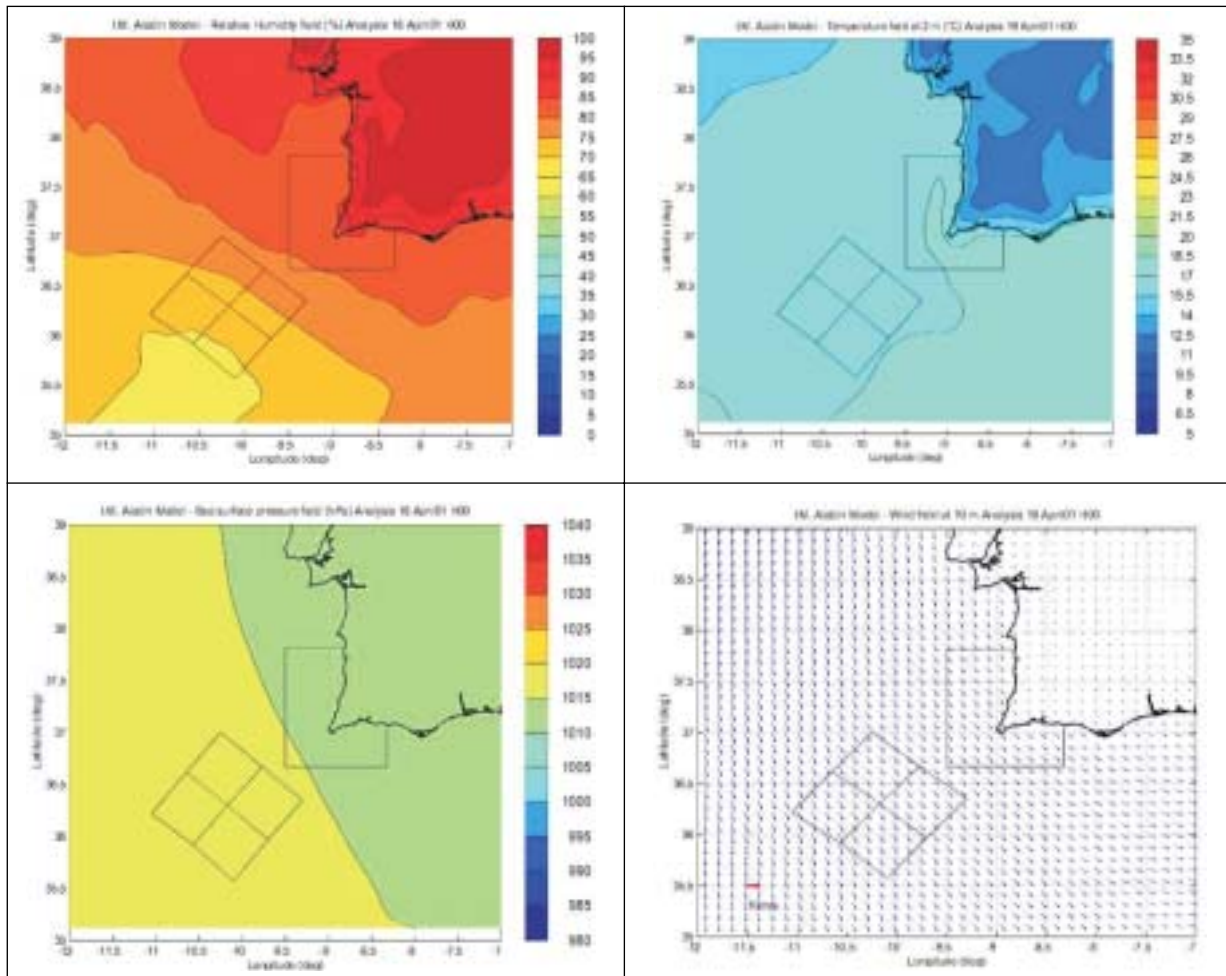


Fig. 5 – Gráficos de humidade relativa, pressão, temperatura e campo de ventos

### c) Probability detection tables

Este produto é talvez o mais importante para a guerra anti-submarina pois produz previsões de alcances sonar, com base nas previsões oceanográficas. Como a informação relativa às características dos sonares é classificada, é fornecida às forças navais e aéreas uma previsão com base em diversas performances dos respectivos sonares, cobrindo várias frequências. Toda a informação é apresentada em tabelas com previsões de alcances para sonares de casco, sonóboias activas e passivas, sonares de helicóptero e *towed array*.

Estas tabelas permitem uma rápida consulta dos alcances, o que é muito útil para uma força, permitindo planejar com antecedência o melhor empenho táctico das forças envolvidas.

### d) Operações anfíbias

Para o desembarque de uma força de fuzileiros há um determinado número de parâmetros que é necessário conhecer com algum rigor. As previsões das condições de

rebentação e correntes ao longo de uma praia, permite escolher o melhor local e o melhor dia para realizar esta operação. Na fig. 6 mostra-se um exemplo em como esta informação é fornecida às forças, permitindo de uma forma atempada, planejar o melhor emprego táctico de uma força de desembarque. A análise da figura mostra ao longo de uma praia qual o melhor local para desembarcar, através da representação da altura da onda, distância à costa da rebentação e profundidade de rebentação.

É possível também apresentar outros resultados como a corrente longitudinal junto a costa, número de linhas de rebentação e tipo de rebentação.

### e) Mapas de correntes e temperaturas

Esta informação é muito importante para a propagação acústica e operação de submarinos pois fornece a previsão de correntes e temperaturas de uma determinada área (fig. 7).

A imagem superior da fig. 7 mostra o regime de correntes e temperaturas da área de operações, sendo muito útil para a análise das condições ASW. A imagem

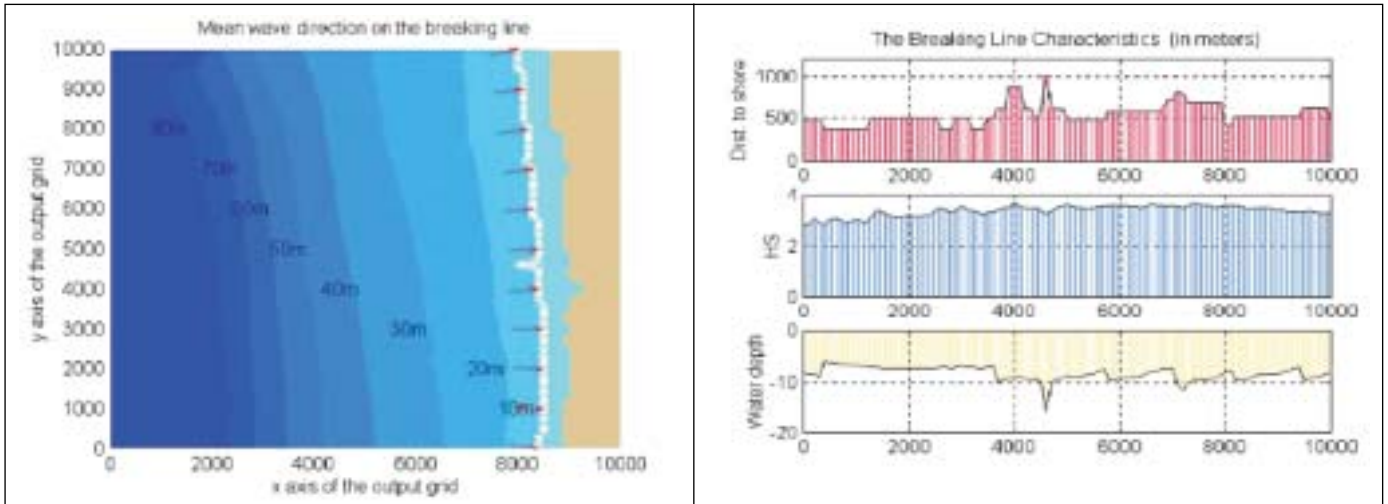


Fig. 6 – Previsão das condições oceanográficas de uma praia

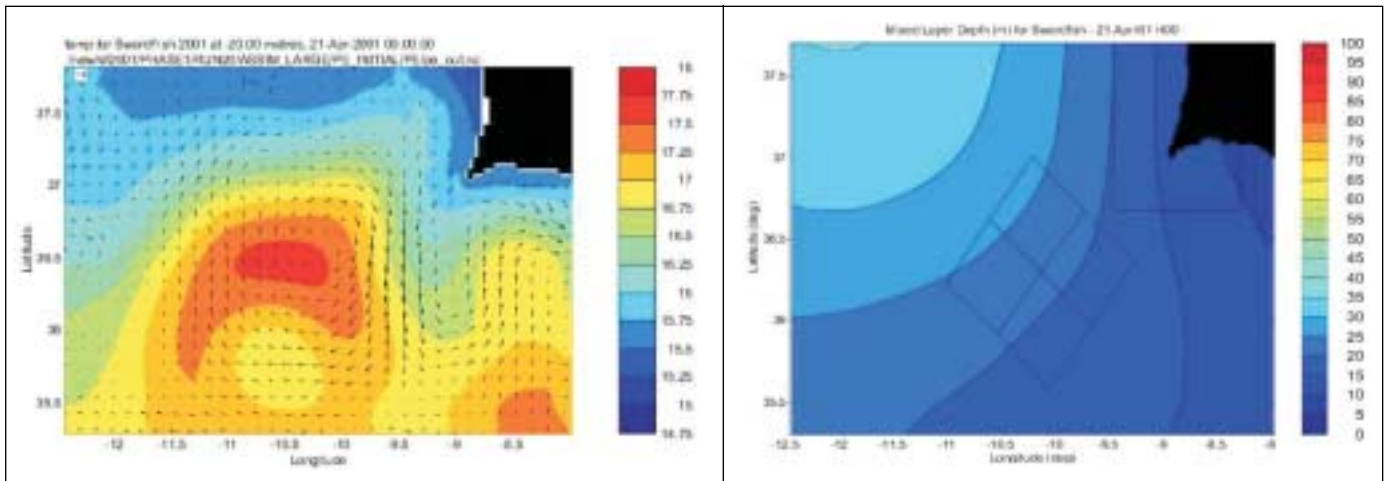


Fig. 7 – Correntes, temperatura e profundidade da camada numa determinada

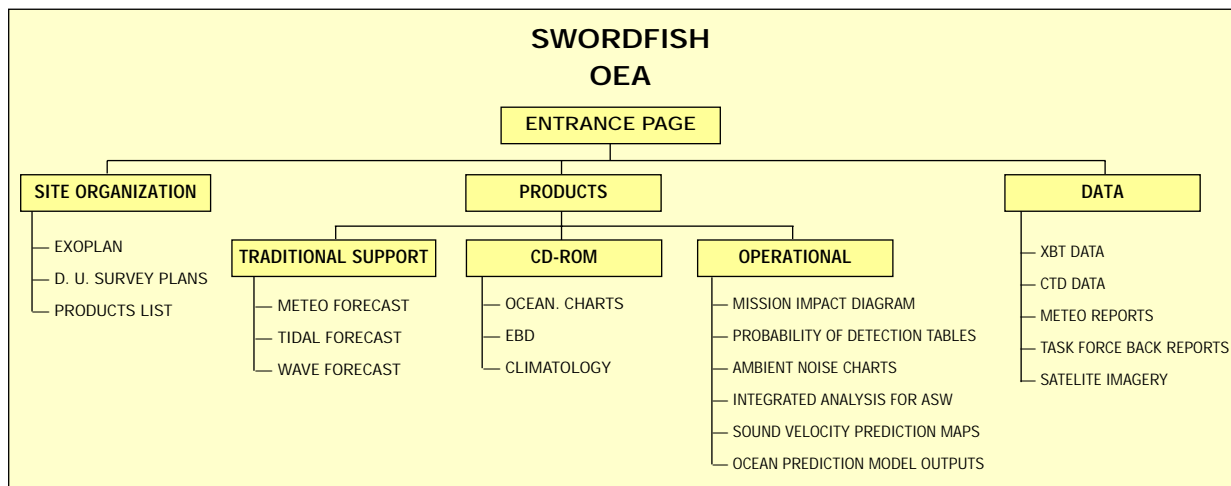


Fig. 8 – Organização da página da Internet durante o Swordfish 2001

inferior da mesma imagem mostra a profundidade da camada de mistura, o que é de extrema importância para operações anti-submarinas.

Toda esta informação é compilada no Centro de Fusão de Dados e está disponível através da Internet durante a condução de operações navais, se a informação for considerada não classificada. As previsões são feitas regra geral até cerca de 72 horas, o que é compatível com a condução e planeamento de acções militares. Na fig. 8 é mostrada a organização da página *Web* usada durante o *Swordfish 2001*.

Muitos outros produtos podem ser disponibilizados para as forças, dependendo dos dados disponíveis e das previsões necessárias à condução de operações.

## 5. Conclusões

As operações REA são uma metodologia que está a ser implementada pelos diversos países da NATO, tendo em vista uma melhor interligação entre o ambiente e as operações militares, numa escala de tempo adequada a um nível tático. Estas operações REA destinam-se a apoiar forças militares nas suas necessidades operacio-

nais e não ao estudo de uma certa área com rigor compatível com o estudo científico. O objectivo deste método é o de construir uma organização rápida e eficiente, rápida análise e processamento dos dados e o design de uma arquitectura de comunicação de dados efectiva.

Todo o esforço terá que ser feito na direcção de melhorar as previsões e ao mesmo tempo reduzir os tempos entre a análise e disseminação dos produtos pelas forças, quer pelo desenvolvimento de métodos de recolha de informação mais efectivos, quer pelo desenvolvimento de modelos e algoritmos mais rápidos e fiáveis.

Actualmente no mundo ocorrem vários conflitos à escala regional bem localizados, em consequência da conjuntura internacional resultante do fim da Guerra Fria. Durante o período da Guerra Fria o esforço era feito em termos globais mas actualmente a comunidade dita METOC, está a redireccionar o seu trabalho numa perspectiva de REA, por forma a fornecer às forças combatentes exactamente o que elas precisam num determinado momento e situação. É necessário continuar a desenvolver este conceito por forma a obtermos uma vantagem decisiva em termos ambientais, ao aproveitar as vantagens táticas fornecidas pelo REA.

# Aplicação de um sistema de classificação dos petróleos à identificação de derrames no mar

José Biscaya  
INVESTIGADOR AUXILIAR

**Resumo** Os derrames de petróleos brutos apresentam uma especial gravidade por, geralmente, implicarem um grande volume de petróleo derramado, dado o petróleo bruto ser transportado em muito maiores quantidades que o gasóleo ou fuel. A composição química de um petróleo bruto é marcada pela região de onde provem e pela história do reservatório em que se formou. As características ou «impressões digitais» determinadas por CG/EM (cromatografia de gás/espectrometria de massa) podem reflectir a origem geográfica e a história dos petróleos, e permitem identificar o tipo de petróleo derramado previamente a qualquer comparação com produtos provenientes dos suspeitos.

O objectivo deste estudo é a selecção das características mais apropriadas e a criação de uma «Base de Dados» dessas características para uma grande variedade de petróleos frequentemente transportados por via marítima. O uso da «Base de Dados» vai permitir limitar a origem geográfica do petróleo derramado a um campo ou a um pequeno grupo de campos, limitando assim o número de origens possíveis que devam ser profundamente estudadas e reduzindo o número de análises a realizar para identificar a verdadeira origem da fonte de poluição.

**Abstract** *Spillages of crude oil are often particularly harmful to the marine environment, as crude oils are generally transported in much larger quantities than refined products such as gasoil or kerosene. The chemical composition of a specific crude oil is related to the location from which it derives, and the history of the reservoir within which it was formed. The characteristics determined by the GC/MS (gas chromatography/mass spectrometry) fingerprinting technique reflect this geographical origin and source history, and should allow the identification of the type of crude oil spilled as a preliminary to the analysis of samples from suspected sources.*

*The aim of the study is the selection of the most useful of these characteristics, and the compilation of a database of characteristics for a wide range of crude oils currently transported by sea. The use of this database will narrow the possibilities to a single field or group of fields, thus limiting the number of suspect sources to be examined and so limiting the number of analyses which have to be conducted to allow the identification of the source of pollution.*

*Key words: Oil, petroleum, hopanes, hydrocarbons, gas chromatography, mass spectrometry.*

## Introdução

**D**evido às condições de génese, migrações e armazenagem os petróleos têm características químicas que os podem individualizar. O facto dessas características variarem em função da origem permite a identificação de amostras por comparação entre a amostra derramada no mar e amostras provenientes dos navios suspeitos de terem provocado o derrame. Este sistema é muitas vezes referido como comparação de «impressões digitais» ou comparação de «perfis».

A identificação assenta num número muito grande de relações entre compostos em cada uma das amostras, aplica-se a petróleos e seus derivados, e só será possível se o número de amostras a comparar for limitado. Se houver

suspeitos começa-se por comparar a amostra de poluição com as amostras dos suspeitos. Não havendo suspeitos o problema não se poderá resolver se a amostra for de um derivado do petróleo. Para os petróleos brutos foi estabelecido um Sistema de Classificação que vai permitir limitar a origem geográfica do petróleo derramado a um campo ou a um pequeno grupo de campos. Assim diminui drasticamente o número de origens possíveis que devam ser profundamente estudadas e reduz o número de análises a realizar para identificar a verdadeira origem da fonte de poluição. Dado que as características a registar para o Sistema de Classificação têm de ser limitadas, procedeu-se ao estudo das que são mais identificadoras e também menos alteráveis quando o petróleo cai na água e fica sujeito a degradação ambiental.

## Composição química e gênese do petróleo

O petróleo é uma mistura natural complexa de compostos de Carbono e Hidrogénio – os Hidrocarbonetos (fig. 1) e de compostos ternários em que a estes elementos se ligam Enxofre, Azoto ou Oxigénio e também alguns compostos de elevado peso moléculal como as Porfirinas e os Asfaltenos (fig. 2). Alguns dos compostos podem ser relacionados com os seus precursores de origem biológica – são os biomarcadores ou fósseis geoquímicos. Estes compostos são de muita importância na identificação dos petróleos.

Os hidrocarbonetos do petróleo podem ser divididos em alifáticos (alcanos e isoalcanos), cicloalcanos ou alicíclicos, cicloaromáticos ou naftenoaromáticos (de que são exemplo os Hopanos) e aromáticos, designados por monoaromáticos, diaromáticos, triaromáticos ou poliaromáticos de acordo com o número de anéis que apresentam.

O petróleo é uma rocha sedimentar biogénica cuja composição foi influenciada pelo sedimento biológico (ou biomassa) que lhe deu origem, pelas condições de pressão e temperatura a que o sedimento foi sujeito durante milhões de anos, pelo meio em que se deu a sedimentação (normalmente em lagos, bacias ou estuários em que as águas podiam ter características oxidantes ou redutoras) e pelo sedimento não biológico que foi depositado simultaneamente.

A fig. 3 (Tissot e Welte, 1978 e Rodrigues, 1983) ilustra

Fig. 1 – Esquema da composição química do petróleo no tocante aos diferentes tipos de hidrocarbonetos – alifáticos (alcanos e isoalcanos), cicloalcanos ou alicíclicos, cicloaromáticos ou naftenoaromáticos e aromáticos, designados por monoaromáticos, diaromáticos, triaromáticos ou poliaromáticos de acordo com o número de anéis que apresentam.

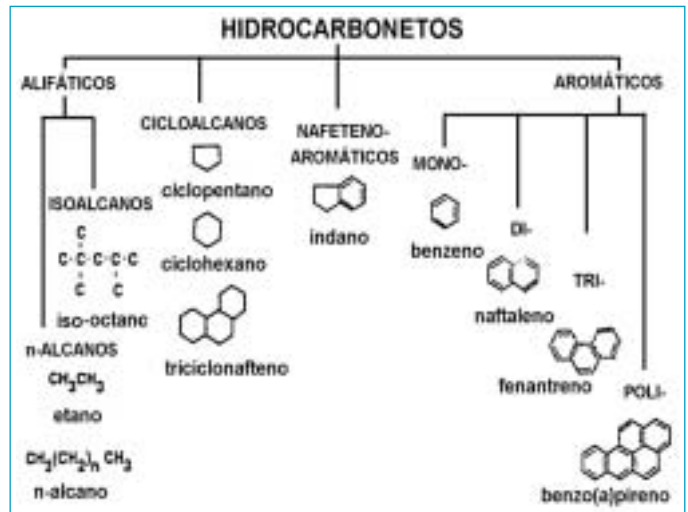


Fig. 2 – Esquema da composição química do petróleo no tocante aos compostos ternários e compostos com elevado peso moléculal.

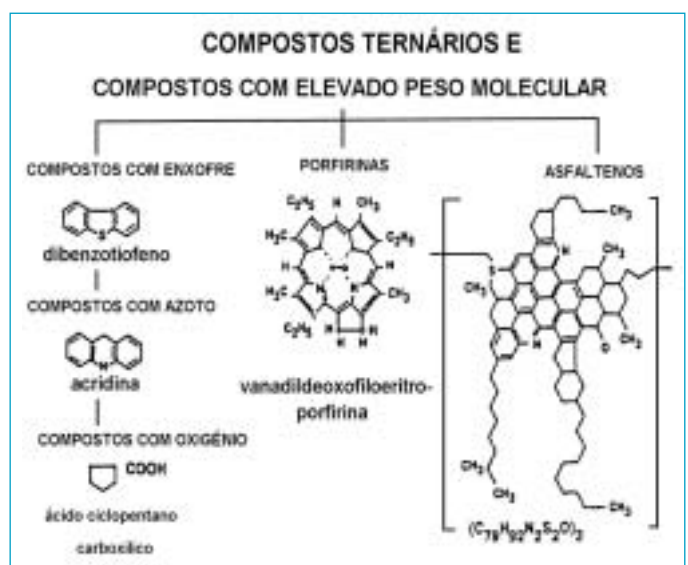
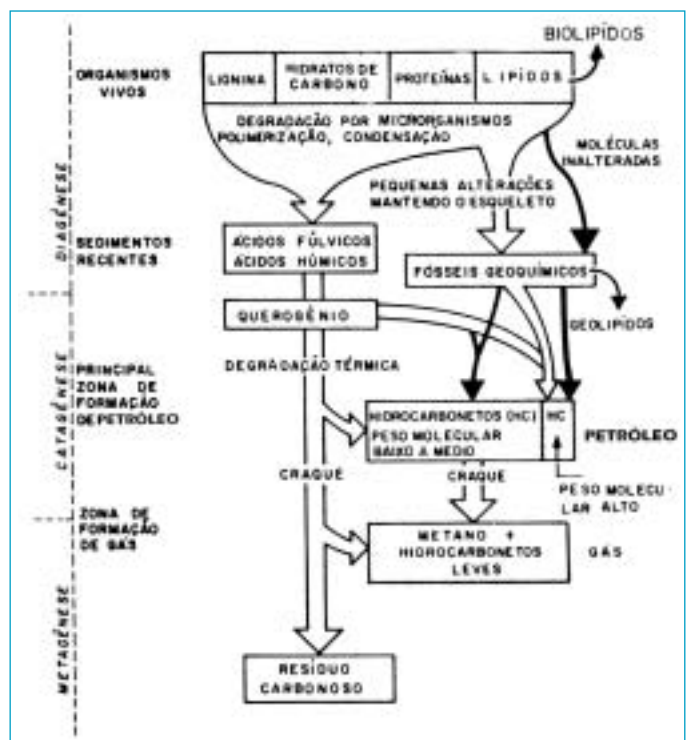


Fig. 3 – Esquema da formação do petróleo e gás natural desde a sedimentação até à fase final. A formação do petróleo dá-se em duas fases – a Diagenese em que o sedimento biológico foi sujeito à acção de microrganismos e a Catagenese em que actua a pressão e temperatura depois do sedimento atingir maiores profundidades. De notar a formação dos chamados Fósseis geoquímicos ou biomarcadores (moléculas pouco transformadas que se podem relacionar com a molécula biológica que lhes deu origem). A terceira fase chamada Metagenese é já uma fase destrutiva em que o petróleo é convertido em gás e resíduo carbonoso.



tra esquematicamente a formação do petróleo e do gás natural desde a sedimentação até à fase final. O gás natural é um subproduto da formação do petróleo ou resulta da alteração degradativa do petróleo quando este é submetido a temperaturas e pressões superiores às desejáveis. A formação do petróleo dá-se em duas fases – a Diagénesse em que o sedimento biológico foi sujeito à acção de microrganismos e a Catagénesse em que actua a pressão e temperatura depois do sedimento atingir maiores profundidades. Algum do petróleo formado foi destruído e transformado em gás e resíduo carbonoso por efeito da pressão e temperaturas demasiado elevadas durante uma terceira fase chamada Metagénesse.

O período de formação dos petróleos é muito variável considerando-se, por exemplo, que o petróleo do Saara Oriental é do Devónico superior (cerca de 350 milhões de anos), o da Bacia de Paris do Jurássico (180 milhões de anos) e os da África Ocidental e da bacia de Los Angeles do Terciário (entre 35 e 10 milhões de anos). Com esta diferença de tempo também a biomassa tem de ser necessariamente diferente dada a evolução das espécies. Assim durante o Cambríco e até ao Devónico a biomassa era constituída sobretudo por bactérias e fitoplâncton e mais raramente por algas bentónicas e zooplâncton, enquanto que nos petróleos mais recentes já pode haver a contribuição de plantas terrestres que se começaram a desenvolver no fim do Silúrico e se generalizaram no Devónico.

Quanto ao local de formação os petróleos originados nos estuários ou nas bacias de grandes rios têm

certamente uma maior contribuição de plantas terrestres que são arrastadas sob a forma de detritos. O 18a (H)-oleanano é geralmente relacionado com a contribuição de plantas superiores e aparece em grande concentração em petróleos da Nigéria, da Ilha Formosa (Taiwan), da Indonésia e da Nova Zelândia.

O estado de oxigenação do meio aquático em que se deu a deposição é muito importante dado que por um lado a grande abundância de oxigénio pode contribuir para a degradação quase imediata da biomassa impedindo a formação de petróleo e, por outro lado, pode influenciar a composição. Por exemplo, um dos grandes componentes da biomassa é o Fitol, cadeia lateral da clorofila que se separa, e que em meio oxidante dá origem ao Pristano (2,6,10,14 tetrametilpentadecano) e em meio redutor dá origem ao Fitano (2,6,10,14 tetrametilhexadecano). Isto pode ser a razão da grande variedade de valores encontrados para as relações Pristano/Fitano (P/F), Pristano/Heptadecano (P/C17) e Fitano/Octadecano (F/C18) que constam do Quadro 2.

## Metodologia

A Classificação poderia assentar apenas em biomarcadores, compostos mais resistentes cuja estrutura permite saber a que compostos correspondiam no reino animal ou vegetal. É o caso do perfil de Hopanos (Terpanos pentacíclicos) – fig. 4 e do perfil de Alcanos e Isoalcanos – fig. 5.

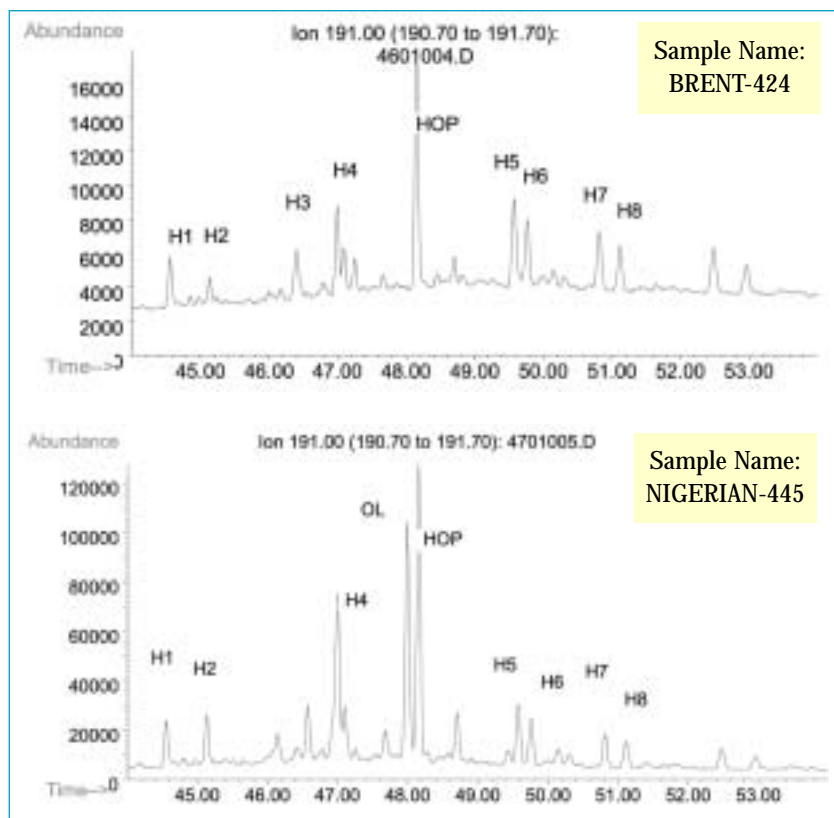


Fig. 4 – Perfis de Hopanos de duas amostras – Brent (Mar do Norte) e Nigerian (Nigéria). De notar, no petróleo Brent a existência de H3, 17 (H),18 (H),21 (H)-28,30-bisnorhopano, e no petróleo Nigerian a existência de OL, 18a (H)-oleanano. Comparando os dois perfis sobressai também a maior percentagem de H4, 17 (H),21 (H)-30-norhopano no petróleo Nigerian e a relação entre H1 e H2 que se apresentam mais semelhantes entre si no Nigerian que no Brent.

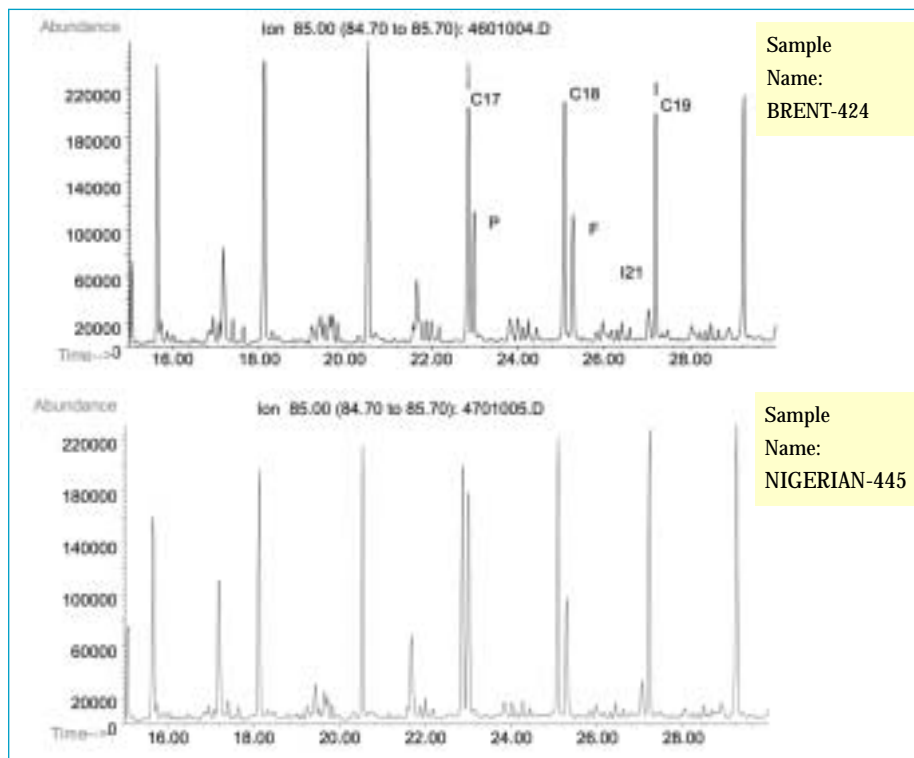


Fig. 5 – Perfis de Alcanos e Isoalcanos de duas amostras – Brent (Mar do Norte) e Nigerian (Nigéria). No petróleo Brent os picos de Pristano (P), 2,6,10,14 – tetrametilpentadecano e de Fitano (F), 2,6,10,14 – tetrametilhexadecano são semelhantes. No petróleo Nigerian nota-se a grande predominância de Pristano.

No entanto concluiu-se ser necessário que assentasse também em compostos mais afectados pelo processo de mineralização – compostos aromáticos e heterocíclicos com enxofre, nomeadamente os metilfenantrenos, os dimetilfenantrenos e os metildibenzotiofenos – fig. 6. Os compostos encontram-se identificados no QUADRO 1 de acordo com Moldowan (1985) e Radke (1990).

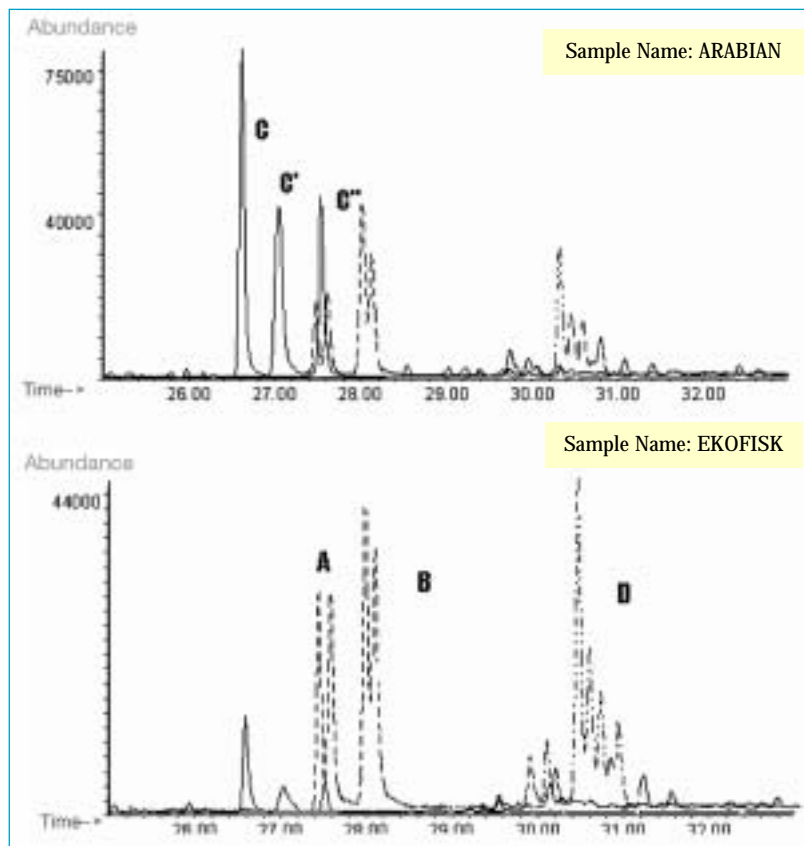
As amostras dos petróleos em estudo (cerca de 150 de diferentes proveniências) foram dissolvidas em n-Hexano e analisadas por Cromatografia de Gás com detector de Espectrometria de Massa (CG/EM).

Para cada amostra foram calculados e registados, para além de outros, os parâmetros que se encontram indicados no QUADRO 2 (Biscaya, 1997).

Quadro 1 IDENTIFICAÇÃO DOS PICOS		
	PICO	COMPOSTO
HOPANOS	H1	18 (H)-22,29,30-trisnorhopano
	H2	17 (H)-22,29,30-trisnorhopano
	H3	17 (H),18 (H),21 (H)-28,30-bisnorhopano
	H4	17 (H),21 (H)-30-norhopano
	OL	18 a (H)-oleanano
	HOP	17 (H),21 (H)-hopano
	H5	17 (H),21 (H)-30-homohopano(22S)
	H6	17 (H),21 (H)-30-homohopano(22R)
ALCANOS	H7	17 (H),21 (H)-30,31-bishomohopano(22S)
	H8	17 (H),21 (H)-30,31-bishomohopano(22R)
	C17	Heptadecano
	P	2,6,10,14-tetrametilpentadecano (Pristano)
	C18	Octadecano
ALCANOS	F	2,6,10,14-tetrametilhexadecano (Fitano)
	I21	Isoalcano em C <sub>21</sub>
	C19	Nonadecano
AROMÁTICOS	A	3-Metilfenantreno (3-MF)+ 2-Metilfenantreno (2-MF)
	B	9-Metilfenantreno (9-MF)+1-Metilfenantreno (1-MF)
	C	4-Metildibenzotiofeno (4-MDBT)
	C'	3-Metildibenzotiofeno + 2-Metildibenzotiofeno (3+2-MDBT)
	C''	1-Metildibenzotiofeno (1-MDBT)
	D	1,3-Dimetilfenantreno + 2,10-Dimetilfenantreno + 3,9-Dimetilfenantreno + 3,10-Dimetilfenantreno + 1,6-Dimetilfenantreno + 2,9-Dimetilfenantreno + 1,7-Dimetilfenantreno (1,3+1,6+1,7+2,9+2,10+3,9+3,10-DMF)

Quadro 2 PARÂMETROS RESULTANTES DOS VÁRIOS PERFIS			
PERFIL	PARÂMETRO	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
HOPANOS	100 u H1/HOP	6	75
	100 u H2/HOP	4	42
	100 u H3/HOP	(0); 11	77
	100 u H4/HOP	45	128
	100 u OL/HOP	(0); 3	102
	100 u H5/HOP	17	85
	100 u H6/HOP	9	118
	100 u H7/HOP	8	53
ALCANOS	100 u F/C18	12	99 (1000)
	100 u P/C17	7	84 (1000)
	100 u P/F	36	250
AROMÁTICOS	100 u I21/C19	3	86
	100 u A/D	46	69
	100 u B/D	37	92
	100 u C/D	4	179
	100 u C'/C	34	196
	100 u C''/C	12	99





**Fig. 6** – Perfis Compostos aromáticos e heterocíclicos com enxofre: metilfenantrenos (A e B - - - - -), dimetilfenantrenos (D -...-.) e metildibenzotiofenos (C, C'; C''—) de duas amostras – Arabian (Arábia Saudita) e Ekofisk (Mar do Norte). No petróleo Ekofisk são dominantes os dimetilfenantrenos (D) e os metilfenantrenos (A e B). No petróleo Arabian são dominantes os metildibenzotiofenos (C, C', C'').

## Resultados

O poder discriminador de cada um destes parâmetros foi avaliado para se trabalhar com características que contribuíssem para uma boa separação entre petróleos diferentes, para se ter a garantia de que quando o método assinala boas semelhanças estas realmente existem. No Quadro 2 (colunas 3 e 4) apresenta-se para cada parâmetro o valor máximo e o valor mínimo. A utilidade de cada parâmetro como discriminador é tanto maior quanto maior for a diferença entre o máximo e o mínimo. Neste quadro notam-se valores entre parêntesis – (0) para os Hopanos e (1000) para os Alcanos. O (0) dos Hopanos corresponde a compostos que como o oleanano não existem em alguns petróleos; o (1000) dos Alcanos corresponde a petróleos degradados logo na origem (caso do Gullfaks) e não apresentam Alcanos (C17 e C18) mas apresentam Isoalcanos (P e F). O parâmetro  $100 \times C/D$  apresenta muito bom poder discriminador.

No perfil de Hopanos nota-se a existência de 17(H),18(H),21(H)-28,30-bisnorhopano (H3) em grande percentagem de petróleos do Mar do Norte e a sua ausência generalizada nos outros petróleos. O 18a (H)-oleanano (OL) aparece em grande quantidade em petróleos da Nigéria (Nigerian e Bonny) e em petróleos da Indonésia. De acordo com a literatura (Woolhouse, 1992) aparecerá também nos da Nova Zelândia e da Formosa (Taiwan) que não foram objecto deste estudo.

Em quantidades vestigiais pode ser útil na destriça entre origens de perfis muito semelhantes como o petróleo Maya (sem qualquer vestígio de oleanano) e o petróleo Iranian (com vestígios nítidos).

Na fig. 7 apresentam-se dois dendogramas obtidos com os dados calculados para 47 amostras diferentes, com os parâmetros resultantes dos perfis de HOPANOS e de AROMÁTICOS (metilfenantrenos, dimetilfenantrenos e metildibenzotiofenos).

A comparação dos dois dendogramas permite verificar que há petróleos que são mais semelhantes quando estudados por um dos perfis que pelo outro. Por exemplo o Piper e Claymore (ambos do Mar do Norte) encontram-se ligados ao Ural (Rússia) quando se utiliza o perfil de Aromáticos, mas distinguem-se deste mesmo petróleo quando se utiliza o perfil de Hopanos porque estes dois petróleos do Mar do Norte têm 17(H),18(H),21(H)-28,30-bisnorhopano (H3).

## Conclusão

Deste trabalho conclui-se que a utilização dos parâmetros químicos intrínsecos aos petróleos – «impressões digitais» – permite a sua distinção, sendo passível de ser utilizada para determinar a origem geográfica do produto derramado, tendo no entanto de ser acautelado o seu estado de degradação ambiental («Weathering»).

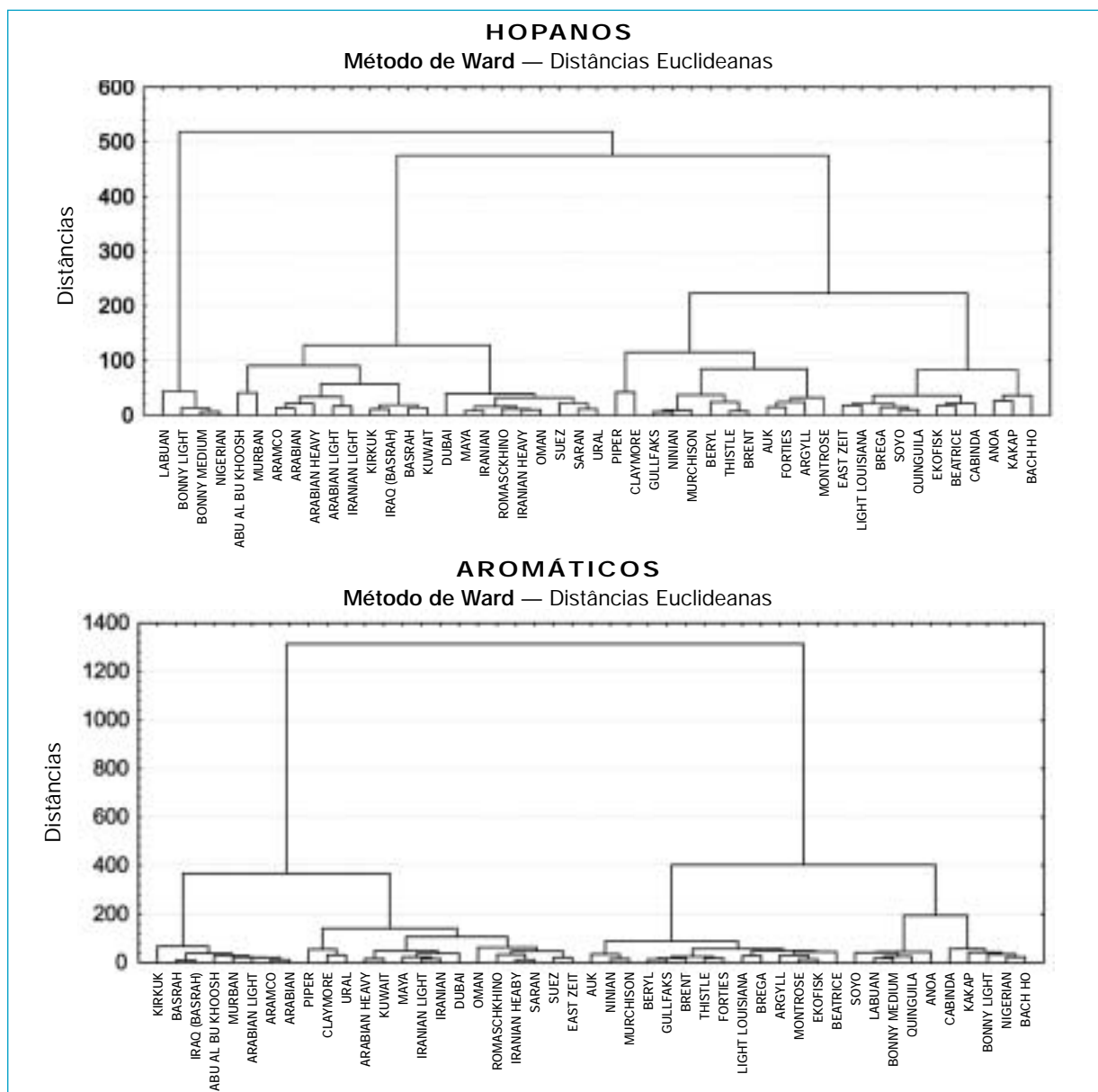


Fig. 7 – Dendrogramas (programa STATISTICA) calculados para 47 amostras diferentes com os parâmetros resultantes dos perfis de HOPANOS e de AROMÁTICOS (metilfenantrenos, dimetilfenantrenos e metilidibenzotiofenos). A comparação entre os dendrogramas permite verificar que ambos contribuem para a separação entre petróleos dado que alguns que se encontram ligados no dendrograma superior, por terem perfis de Hopanos semelhantes, podem aparecer separados no dendrograma inferior, por terem perfis de Aromáticos diferentes.

## Bibliografia

- BISCAYA, J. L. A.; 1997, «Parâmetros Quimiométricos para Identificação/Classificação de Derrames de Produtos Petrolíferos», Tese de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa, 310 páginas+272 páginas de Anexos.
- MOLDOWAN, J. M.; SEIFERT, W.K. e GALLEGOS, E. J., 1985, «Relationship Between Petroleum Composition and Depositional Environment of Petroleum Source Rocks», *AAPG Bull.*, vol. 69, n.º 8, 1255-1268.
- RADKE, M.; GARRIGUES, P. e WILLSH, H., 1990, «Methylated Dicyclic and Tricyclic Aromatic Hydrocarbons in Crude

Oils from the Handil Field», Indonesia, *Organ. Geoch.*, vol. 15, n.º 1, 17-34.

- RODRIGUES, R.,1983, «Utilização de Marcadores Biológicos na Correlação dos Óleos da Bacia do Ceará e da Parte Emersa da Bacia Potiguar», *Bol. Tec. PETROBRAS*, vol. 26, n.º 3, 163-179.
- TISSOT, B. P. e WELTE, D. H., 1978, «Petroleum Formation and Occurrence», Spring-Verlag, Berlim, 540 pp.
- WOOLHOUSE, A. D.; OUNG, J.-N.; PHILP, R.P. e WESTON, R.J., 1992, «Triterpanes and Ring A Degraded Triterpanes as Biomarkers Characteristic of Tertiary Oils Derived from Predominantly Higher Plant Sources», *Organ. Geoch.*, vol. 18, n.º 1, 23-31.

# A problemática da instalação de sistemas de grandes dimensões em navios adaptados

Abílio Matias  
CAPITÃO-TENENTE SEH

**Resumo** Este artigo apresenta, de forma breve, os principais passos da instalação de um multifeixe no NRP «D. Carlos I», dificuldades e soluções encontradas.

Embora a Marinha, e particularmente o Instituto Hidrográfico, tenham acompanhado o desenvolvimento das novas tecnologias, no limiar do século XXI ainda não é possível efectuar sondagens hidrográficas no oceano profundo com cobertura total do fundo. Essa capacidade surge agora no horizonte próximo, com a instalação de um multifeixe de grandes fundos no NRP «D. Carlos I».

Dotar um navio hidrográfico desta capacidade está sujeito a condicionalismos de três factores fundamentais:

- i. A aquisição, processo demorado e fortemente condicionado aos prazos, regras para aquisição e disponibilidade financeira.
- ii. A adaptação de uma plataforma que não foi desenhada e construída para o efeito.
- iii. A instalação de equipamentos e sistemas, com todos os condicionalismos existentes.

O processo de aquisição dos equipamentos e sistemas teve início em 2000, tendo os equipamentos sido todos recebidos de acordo com o planeado e encontrando-se prontos a ser instalados desde o início de 2002.

A maior condicionante do processo consiste nas alterações a efectuar no navio e no desenho do projecto de instalação que sofreram atrasos devido a factores externos.

O início das obras de alteração do navio, a que se seguirá a instalação de equipamentos e sistemas, tem como condicionalismo a disponibilização de verbas adequadas para o efeito e, quer por motivos financeiros, quer por outros factores, ainda não teve início.

Este artigo apresenta, de uma forma simples, os principais passos da instalação de um multifeixe no NRP «D. Carlos I», dificuldades e soluções encontradas.

**Abstract** *This paper presents, in a brief way, the main steps of the multibeam installation in the NRP D. Carlos I, difficulties and solutions found.*

*Despite the technical follow-up of the Portuguese Navy and particularly of the Hydrographic Institute, even in the transition to the XXI century, there was no capability to survey the deep ocean with full bottom coverage. This capability arise nowadays with the installation of a deep-water multibeam system onboard the hydrographic vessel D. Carlos I.*

*The implementation of this capability depends on three fundamentals factors:*

- i. System acquisition, very demanding process and time constrained, requires acquisition rules and financial budget.*
- ii. Platform transformation to meet the requirements for multibeam system installation.*
- iii. Equipment and system installation.*

*The acquisition process started in 2000, the equipments were received according to the supply plan and are ready for installation since the beginning of 2002.*

*The major constraint of this process consists on the transformations in the vessel and in the project installation design delays due to external factors.*

*The vessel's transformation works which will be followed by the system and equipment installation has the constraint of the adequate budget availability, and for one reason or another had not begun yet.*

## A problemática da instalação de sistemas de grandes dimensões em navios adaptados

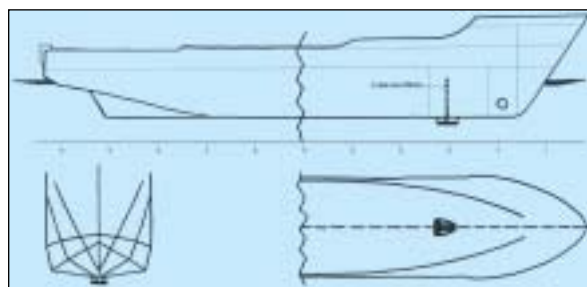
Muitos foram já os navios hidrográficos que tanto e tão bem serviram a Marinha Portuguesa. Condicionamentos vários levaram a que, nos últimos anos, a Marinha apenas dispusesse de um navio hidrográfico, o NRP «Almeida Carvalho», e de duas lanchas hidrográficas, NRP «Andrómida» e NRP «Auriga». Estes navios têm vindo a ser equipados à medida das necessidades e de acordo com a tecnologia do momento.

Os avanços tecnológicos, na área da investigação do mar, criaram outras necessidades em termos de plataforma e nenhum dos navios existentes oferecia condições para poder receber os equipamentos e sistemas da era moderna. Tornava-se portanto necessário que a Marinha fosse dotada de uma plataforma com essas condições.

Em Abril de 1997 chegava a Lisboa o NRP «D. Carlos I» que viria, numa primeira fase, a sofrer avultadas alterações, antes que se tornasse num navio hidrográfico. Porém, as alterações foram as possíveis e não contemplariam ainda as necessárias transformações, para que pudesse receber todos os equipamentos hidrográficos necessários à sua transformação num moderno navio de investigação hidrográfica.

Embora tenha sofrido apenas as alterações mínimas para poder desempenhar algumas missões hidrográficas, o NRP «D. Carlos I» viria a executar algumas missões no âmbito da hidrografia e da oceanografia, equipado apenas com o equipamento indispensável.

O projecto para esta classe de navios, contemplado no POA-7, é, no entanto, mais ambicioso e só as grandes dificuldades técnicas e financeiras têm atrasado o processo, de tal modo que apenas no ano de 2000 foi possível lançar uma série de actividades tendentes à concretização da globalidade do projecto, sendo a aquisição de equipamentos e sistemas uma significativa tarefa, já praticamente concluída. No âmbito do “projecto «D. Carlos I»”, foram adquiridos sistemas hidrográficos, oceanográficos e de navegação, capazes de equipar o navio para a grande maioria, se não para a totalidade, das tarefas que futuramente desempenhará. Contam-se nesses sistemas radares, sistemas de posicio-



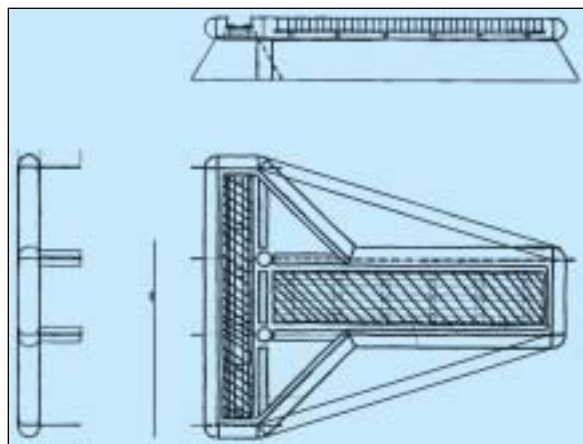
Aspecto esquemático da posição da gôndola

namento, sistemas de sondagem multifeixe, correntómetros de efeito de doppler, sistemas informáticos, guinchos, carta electrónica, etc.

A maioria dos equipamentos e sistemas adquiridos, para serem instalados, necessitam que o navio sofra ainda algumas alterações e adaptações de grande dimensão e que determinam a permanência do navio em estaleiro por alguns meses, quer para alterações nas superestruturas, quer nas infra-estruturas, onde se considera serem significativas as adaptações para instalação do sistema multifeixe, designadamente dos seus transdutores.

A instalação de transdutores passa pela integração harmoniosa dos transdutores de diversos sistemas acústicos, como é o caso das sondas tradicionais, dos correntómetros ADCP, do odómetro e da sonda de velocidade de propagação do som, com os transdutores do sistema multifeixe.

Cada um dos sistemas a instalar, por si só, necessita de condições ideais de funcionamento, requerendo que a sua instalação se localize numa área do casco, onde o ruído seja mínimo, o que acontece, geralmente, no primeiro terço de vante do navio que, no caso do «D. Carlos I», se situa aproximadamente entre a baliza 20 e a baliza 30, área onde o escoamento das águas apresenta menor turbulência, reduzindo assim a «borbulhagem» na superfície dos transdutores.



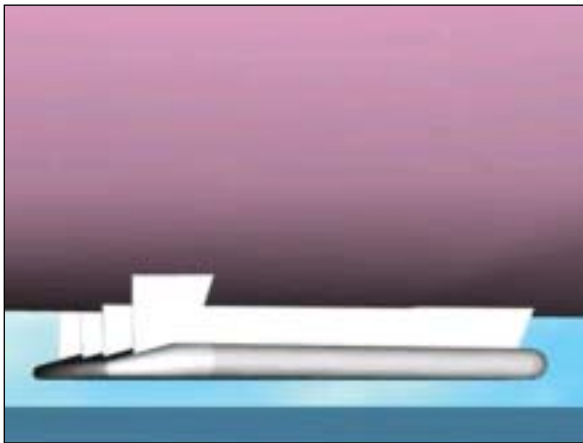
Aspecto da disposição dos transdutores do multifeixe, pode ver-se o aumento da estrutura para poder suportar outros transdutores

Por outro lado, a instalação de um transdutor de grandes dimensões, como é o caso do sistema de transdutores do multifeixe, requer a existência de uma área plana de dimensões consideráveis, o que reduz drasticamente as possibilidades de instalação no casco, tendo também influência determinante na instalação dos restantes sistemas.

A situação ideal seria ter os transdutores dos vários sistemas muito afastados entre si mas, como o óptimo é, na generalidade dos casos, inimigo do bom, esta solução

não serve, fundamentalmente por duas razões, o aumento da área necessária à instalação da totalidade dos transdutores, o que levaria a que alguns fossem relegados para uma zona do navio onde o escoamento da água é turbulento e próximo das fontes de ruído próprio do navio (máquinas), e as perturbações que alguns transdutores provocariam no fluxo de água, produzindo turbulência.

Para minimizar as perturbações entre sistemas e melhor aproveitar a área do casco do navio onde são esperadas as melhores condições de escoamento, torna-se necessário desenhar a instalação dos vários sistemas de forma integrada. Este facto pode levar a várias soluções de instalação, que vão desde a instalação no casco à instalação numa estrutura que se designou por gôndola, dadas as semelhanças, no seu desenho original, com aquela embarcação Veneziana.



Idealização da estrutura fixada ao casco  
(Eng. Mendes Henriques/DN)

Das soluções existentes não se pode afirmar, com inteira certeza, que uma seja substancialmente melhor que a outra. Se uma apresenta vantagens no que diz respeito à manutenção dos sistemas, condição que deve ser considerada com grande peso, e até mesmo à configuração de alguns sistemas, como é o caso da instalação no casco, outra (gôndola) apresenta a grande vantagem de garantir, à partida, melhores condições de escoamento das águas e, deste modo, um nível de ruído inferior e a manutenção dos sistemas não fica muito mais dificultada, tendo mesmo aspectos vantajosos. O aspecto menos vantajoso, entre a instalação de casco e a gôndola, está no facto do segundo aumentar um pouco mais o calado do navio (cerca de 1 metro contra 0,4-0,8 m). Existe uma situação intermédia, que se designou por barquinha, que não tem a vantagem da gôndola e apresenta as mesmas desvantagens no aumento do calado (0,8-1,0 m). Assim, pesadas as vantagens e as desvantagens, fez-se a opção pela instalação em gôndola que, do ponto de vista do fabrico, apresenta vantagens consideráveis de fixação ao casco, uma vez que toda a estrutura

pode ser construída e rectificada em estaleiro, sem necessidade de grande permanência do navio em doca seca, sendo fixada ao casco numa ida à doca com curta duração. Este facto, de per si, parece não constituir uma vantagem grande, pois a barquinha pode seguir um processo idêntico, no entanto há vantagens de alinhamento para o sistema em gôndola, dada a sua simplicidade de fixação, que não existem nas restantes soluções.

Uma vez escolhida a solução foi necessário proceder ao desenho da estrutura, por forma a poder conter os transdutores de todos os sistemas, o que não se revelou tarefa fácil uma vez que a necessidade de minimizar a dimensão da estrutura e maximizar o afastamento dos transdutores criou uma segunda necessidade, a de obtenção de um compromisso.

Na procura de uma solução de compromisso foi necessário proceder ao desenho prévio de uma solução e, a partir dessa base, estudar alternativas à disposição dos diversos transdutores. Assim, foi necessário ter em atenção o regime de utilização de cada sistema, por forma a equacionar as situações de possível interferência.

Atendendo a que o multifeixe, dadas as suas dimensões e características operacionais, é o sistema determinante procedeu-se à distribuição da localização dos restantes transdutores no espaço sobranete, procurando obter os melhores afastamentos entre os transdutores do sistema ADCP, uma vez que os transdutores das sondas de feixe simples estarão, na grande maioria das situações, inactivos quando se usar o sistema multifeixe.

Do trabalho efectuado nasceu o desenho de uma gôndola que, sendo baseada no desenho original fornecido pela Simrad, pouco se assemelha à embarcação que lhe deu o nome. As características principais desta estrutura consistem no facto de ter sido desenhada por forma a que o escoamento das águas se faça essencialmente entre o casco do navio e a parte de trás dos transdutores e de dispor de espaço suficiente para proceder à instalação de diversos tipos de transdutores e à sua fácil manutenção.

Este sistema será ainda equipado com um sistema de corte de cabos, para prevenir os sempre possíveis acidentes com redes e outros cabos que se possam enlear à estrutura.



Idealização da estrutura vista inferior  
(Eng. Mendes Henriques/DN)

Um dos maiores problemas encontrados está na solução da passagem da grande quantidade de cabos para o interior do navio, uma vez que o sistema tem de ser funcional e facilmente removível. A solução encontrada para os cabos do multifeixe consiste de dois tubos, por forma a separar os cabos dos transdutores de transmissão e de recepção, que ligarão o ponto de junção dos cabos na gôndola à localização das caixas de junção e do pré-amplificador.

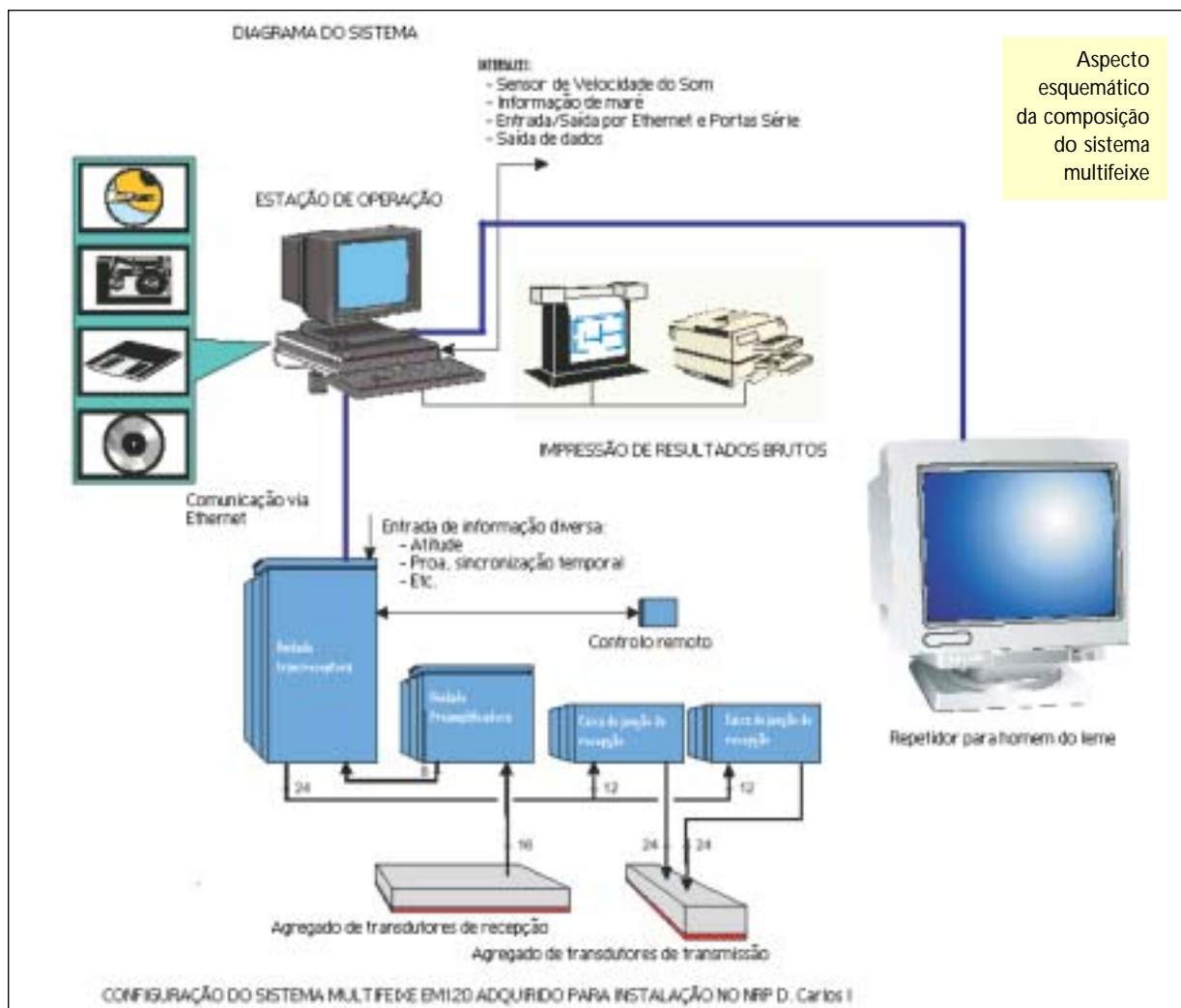
Existirão outros tubos, de menor dimensão, para passagem de cabos das sondas de feixe simples (já instaladas e que sofrerão alteração de posição), dos perfiladores ADCP e da sonda de velocidade de propagação do som ao nível dos transdutores, informação imprescindível para o tratamento do sinal do multifeixe. Quanto ao odómetros poderá ter solução alternativa à instalação na gôndola.

A instalação da cablagem é, talvez, a parte mais difícil, uma vez que todo o trajecto no interior do navio tem de ser planeado, por forma a evitar curvaturas acentuadas, uma vez que os cabos ficarão, em todo o trajecto, contidos em tubos metálicos que fornecerão a blindagem necessária. A considerável bitola dos cabos torna

difícil a sua passagem pelo interior dos tubos, mesmo através dos troços rectos.

A instalação das cabinas que contêm a electrónica do sistema multifeixe, as caixas de junção, os pré-amplificadores e a caixa de comando, implicará algumas alterações, não muito significativas, no posicionamento de anteparas amovíveis, nomeadamente na zona da enfermaria.

A parte restante do sistema será distribuída pelo Centro de Aquisição de Dados (CAD) e pela ponte do navio. No CAD não se torna necessário, por motivo de instalação deste sistema, proceder a alterações significativas, uma vez que a primeira fase das alterações do navio contemplavam a instalação do sistema. Na ponte torna-se necessário instalar dois monitores planos de cristal líquido (LCD), um para dar informação de guiamento do navio e outro para dar informação relativa aos trabalhos em execução, por forma a manter o comando do navio informado do estado dos trabalhos. Por forma a que a informação seja convenientemente distribuída para os referidos monitores, torna-se necessário proceder à instalação na ponte de um computador dedicado, cujo único objectivo é o manuseamento da informação



distribuindo-a para o monitor correcto. Este computador permitirá efectuar algumas operações sobre o sistema de visualização, que não terão qualquer efeito no sistema multifeixe, uma vez que apenas manuseiam a informação localmente.

A interligação dos equipamentos que fazem parte do sistema será efectuada por rede interna, sendo o centro de comando do sistema uma estação de trabalho Sun Ultra 5, instalada no CAD. Apenas a partir deste posto se poderá alterar o estado de funcionamento do sistema, pois é neste posto que se pode configurar o sistema e que é executada localmente a aplicação informática que permite a aquisição e visualização dos dados e que define a informação a enviar para os visualizadores remotos.

Outras consequências, da instalação do sistema multifeixe, resultam da necessidade de se dispor de um sistema de posicionamento e de atitude de grande qualidade, o que determina a necessidade de se efectuarem alterações no mastro de ré do navio, por forma a poder comportar uma estrutura ligeira em alumínio, com cerca de 2,5 metros de comprimento, que deverá ser instalada longitudinalmente e tão alinhada com a linha de proa do navio quanto seja possível. Nesta estrutura serão instaladas duas pequenas antenas de recepção do sinal GPS. Este sistema necessita ainda de dispor de

uma pequena plataforma, instalada próximo do centro de gravidade do navio, onde será instalado um sensor de atitude para fornecer, entre outras, a informação de balanço, arfagem e cabeceio do navio.

Para o pós-processamento há necessidade de instalar uma estação de trabalho e de dispor de uma segunda, em gabinete no IH para o processamento final. Estas estações foram adquiridas com o sistema mas ainda não dispõem de software para o processamento, uma vez que todo o trabalho será processado com CARIS HIPS/SIPS, cujas licenças ainda não foram adquiridas.

Para operação de um sistema deste tipo a existência de energia eléctrica estabilizada e ininterrupta é uma necessidade absoluta. O navio dispõe de energia estabilizada, uma vez que foi dotado de conversores adequados na primeira fase de conversão, pelo que subsiste a necessidade de dotar parte da instalação com unidades ininterruptas de fornecimento de energia alterna 240Vac (UPS), com capacidade para manter as partes essenciais do sistema designadamente cabina eléctrica, pré-amplificadores, Seapath 200, estação de trabalho Sun Ultra 5, servidor de rede interna e computador do sistema de visualização da ponte.

Embora de forma resumida transcrevem-se aqui algumas das características principais do sistema multifeixe:

Frequência de trabalho	12kHz
Alcance	11000m
Cobertura	Variável com a profundidade de 2 a 7 vezes a profundidade média
Número de sondas por transmissão	191
Pesquisa de perdas de fundo	Automática
Abertura dos feixes	2°
Monitorização da qualidade	Tempo Real
Visualização de dados	Tempo Real
Visualização de reflectividade	Tempo Real
Visualização da batimetria não corrigida	tempo Real
Imagens de reflectividade	Visualização/gravação
Correcção de balanço	Tempo Real
Correcção da variação de proa	Tempo Real
Corr. da vel. de propagação do som	Tempo Real ou Pós-processamento.

# Projecto de assinalamento marítimo das áreas de protecção dos cabos submarinos da rede de fibra óptica dos Açores – Marconi

*Guilherme Adelino Figueiredo Marques Ferreira*

CAPITÃO-TENENTE

*Fernando José Abrantes Horta*

PRIMEIRO-TENENTE

**Resumo** Neste artigo, é descrita a metodologia utilizada para a elaboração do projecto de assinalamento marítimo das áreas de protecção dos cabos submarinos da Marconi, nos Açores, que teve como base as recomendações da IALA (International Association of Lighthouses Authorities).

As áreas de protecção propostas levaram em linha de conta entre outros aspectos, a situação orográfica da batimetria, os perigos para a navegação, as actividades de pesca e o tráfego marítimo em geral, bem como o enquadramento legal.

A necessidade da criação das áreas de protecção dos cabos e do seu assinalamento, ficou realçada com os acidentes ocorridos, o mais recente na Ilha Graciosa, de que resultaram graves prejuízos.

**Abstract** *This paper describes the methodology used to elaborate a maritime signalling plan for the protection of the areas around Marconi's submarine cables at Azores Islands, in accordance with the recommendation of IALA (International Association of Lighthouses Authorities).*

*The proposed protected areas were established considering several limitations, among which, dangers to navigation, fishing activities, sea traffic and also legal aspects.*

*The need to create these signalised protected areas was reinforced due to the occurrence of some accidents that damaged the cables, namely one at Graciosa Island.*

## Introdução

No âmbito do acordo existente entre o Instituto Hidrográfico (IH) e a Companhia Portuguesa Rádio Marconi (CPRM) e considerando as estreitas relações que têm sido mantidas por estes dois organismos no que diz respeito à implantação e protecção de cabos submarinos, foi recentemente efectuado um projecto de assinalamento marítimo que visa proteger o anel de fibra óptica, que interliga as diversas ilhas dos grupos Central e Oriental do Arquipélago dos Açores.

A título de curiosidade refira-se que não foi efectuada a ligação por cabo ao grupo Ocidental por não ter sido considerado economicamente rentável, face à reduzida população dessas ilhas, tendo-se optado pela ligação por satélite. Na realidade, mesmo os cabos dos grupos Oriental e Central encontram-se neste momento subaproveitados, mas constituindo já um factor importante de desenvolvimento, reduzindo os efeitos da insularidade.

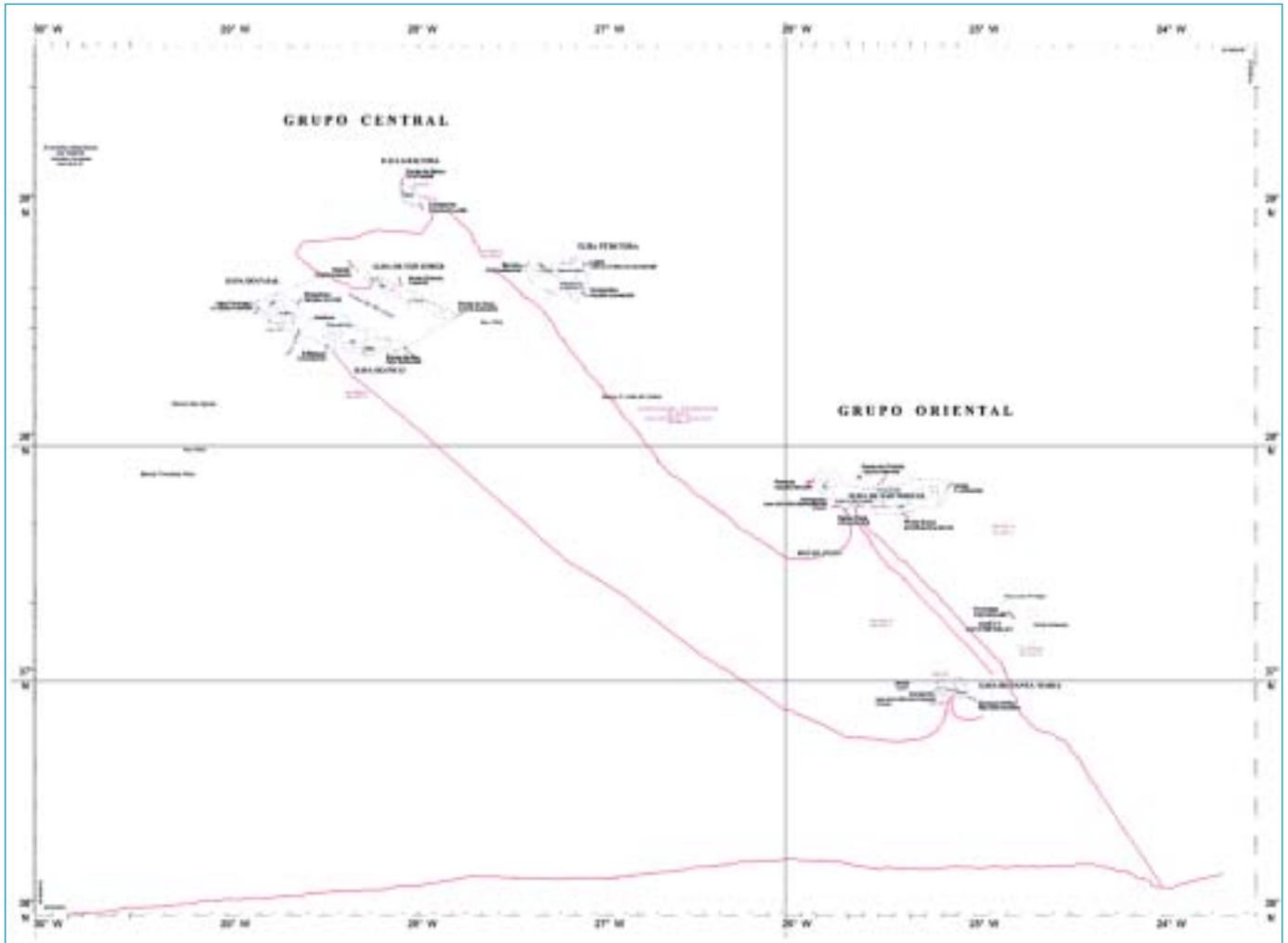
## Resumo histórico

No fim do século XIX foi feita a primeira amarração de cabos submarinos nos Açores nas cidades da Horta e Ponta Delgada. A Horta foi transformada num dos maiores pontos de amarração de cabos submarinos do mundo, com cabos para a América do Norte, Inglaterra, França, Alemanha, Espanha, Cabo Verde e Lisboa num total de 15 cabos, das companhias Easter Telegraph (Inglesa), Commercial Cable e Western Union (Americanas) e Deutsche Atlantische (Alemã).

Na Horta, os cabos tinham como locais de amarração o Porto Pim e a Praia da Conceição, sendo a Estação Terminal a principal, pertencente à companhia inglesa acima mencionada. Esta companhia situava-se, justamente, no edifício onde está hoje instalado o Hotel Faial. Em Ponta Delgada, o ponto de amarração era na praia de São Roque, sendo a Estação de Cabos, o actual edifício dos CTT da freguesia (à saída nascente de Ponta Delgada).

Estes Cabos Submarinos eram cabos telegráficos (de cobre), sendo mais tarde substituídos por outros de





Trajeto dos cabos submarinos de fibra óptica interligando as ilhas dos grupos Central e Oriental

cobre coaxial, os quais operaram até à década de 1960, data em que, na cidade da Horta, a companhia Inglesa Cable & Wireless encerrou as suas operações, devido à entrada em cena da tecnologia de transmissão via satélite, com maior qualidade e capacidade de transmissão.

Na década de 80, os cabos submarinos ganham nova vida com o aparecimento das tecnologias de transmissão em fibra óptica, aplicadas a cabos de longa distância, o que lhes permitiu ganhar novamente, e de modo crescente a nível mundial, o seu papel anterior, possuindo agora uma qualidade e capacidade de transmissão sem paralelo.

Em 1998, praticamente um século depois das primeiras amarrações, os Açores voltam a receber cabos submarinos de fibra óptica, agora propriedade da Companhia Portuguesa Rádio Marconi. O sistema de cabos Inter-Ilhas dos Açores é constituído por amarrações em Santa Maria, Pico, Faial, Graciosa, São Jorge, Terceira e São Miguel.

Em 1999 foi a vez de amarrar em São Miguel um cabo submarino óptico transcontinental, o Columbus 3, também com amarrações em Itália, Espanha, Portugal

Continental e América do Norte e que tem como co-proprietário a Companhia Portuguesa Rádio Marconi.

## Antecedentes

No final do ano de 1996, enquadrado num projecto de implantação da denominada *Rede de Interligação Óptica dos Açores*, e na sequência de anteriores contactos mantidos na área dos cabos submarinos, a CPRM solicitou ao IH um estudo de gabinete abrangendo áreas da Batimetria, da Geologia Marinha, da Oceanografia Física, da Meteorologia, da Segurança e Aspectos Legais. Apresentar-se-ão de seguida alguns dos aspectos mais importantes e prioritários que o estudo viria a contemplar:

### Batimetria:

- Estudo pormenorizado de cada região seleccionada, até aos 3.500 metros de profundidade, com indicação das anomalias existentes quer de carácter geológico quer artificial.

**Geologia marinha:**

- Formação geológica;
- Actividade vulcânica no local;
- Fenómenos geológicos ligados à movimentação de placas tectónicas;
- Anomalias geológicas/sísmicas existentes ou em formação;
- Caracterização da camada sedimentar até aos 1.000 metros de profundidade.

**Oceanografia física:**

- Correntes superficiais, de meio fundo e de fundo até aos 1.000 metros de profundidade;
- Correntes de maré;
- Amplitude das marés;
- Ondulação predominante e sua amplitude típica ao longo do ano.

**Meteorologia:**

- Descrição detalhada das condições climáticas, com particular importância às situações de temporal.

**Tráfego marítimo:**

- Volume de tráfego que cruza os potenciais pontos de amarração;
- Existência de restrições ao tráfego que pudessem dificultar os trabalhos de amarração do cabo ou futuras reparações;
- Existência de fundeadouros, em especial os destinados a navios de maior porte.

**Segurança:**

Neste caso concreto foram contemplados todos os aspectos considerados de risco para os cabos, nomeadamente:

- Naufrágios (tipo de destroços e origem do acidente);
- Explorações geológicas;

- Portos comerciais ou de pesca;
- Zonas de exercícios militares;
- Zonas de depósitos de explosivos e ou de detritos;
- Zonas sujeitas a dragagens periódicas;
- Existência de emissários submarinos;
- Actividades piscatórias na região, com indicação dos tipos de pesca e tonelagem das embarcações.

**Aspectos legais:**

- Indicação de autoridades militares e civis com responsabilidades nas zonas em questão.

Este estudo que envolveu e conjugou esforços das Divisões de Oceanografia, Hidrografia e Navegação do Instituto Hidrográfico tinha por principal objectivo a recolha de informação pertinente e relevante, destinada a avaliar as condições geomorfológicas de um conjunto de zonas e de potenciais pontos de amarração para sistemas submarinos de fibras ópticas que permitisse uma decisão consolidada da escolha dos locais de amarração dos cabos submarinos.

Após obtidas as conclusões através do estudo do IH, toda a informação disponível foi coligida e analisada de uma forma cuidada e rigorosa, tendo a CPRM decidido os locais de amarração dos cabos submarinos, que foram os seguintes:

**Ilha de São Miguel** – Em Ponta Delgada na Praia Pequena do Pópulo na posição geográfica (WGS 84)

$$w = 37845.0319N;$$

$$L = 025837.0739W;$$

**Ilha de Santa Maria** – Na Praia Formosa, perto da Vila do Porto na posição geográfica (WGS 84)

$$w = 36857.0219N;$$

$$L = 025805.6419W;$$

**Ilha Terceira** – No Porto da Silveira, perto de Angra do Heroísmo na posição geográfica (WGS 84)

$$w = 38839,3879N;$$

$$L = 027814,1209W;$$



A Baía Formosa onde desembocam os cabos submarinos na ilha de Santa Maria e o local preciso de amarração

**Ilha Graciosa** – Na praia da Vila da Praia, na posição geográfica (WGS 84)

$$w = 39803,0629N;$$

$$L = 027858,2669W;$$

**Ilha do Faial** – Nesta ilha existem dois pontos de amarração, um na praia da Conceição, na posição geográfica (WGS 84)

$$w = 38832,5759N;$$

$$L = 028837,1789W$$

e o outro no Porto Pim, na posição geográfica (WGS 84)

$$w = 38831,4839N;$$

$$L = 028837,5319W;$$

**Ilha do Pico** – Na praia do Galeão na Vila de S. Caetano, na posição geográfica (WGS 84)

$$w = 38825,5259N;$$

$$L = 028825,3589W;$$

**Ilha de São Jorge** – Na praia do Galeão na baía da Areia de João Câncio, Vila das Velas, na posição geográfica (WGS84)

$$w = 38840,7689N;$$

$$L = 028812,3339W.$$

Uma vez encontrados os pontos de amarração mais capazes, procederam-se em seguida a estudos de perfis longitudinais, bem como a algumas sondagens oceânicas consideradas necessárias, nos percursos inter-ilhas que foram seleccionados para a implantação dos cabos submarinos. Finalmente em 1998, já na posse de informação consistente, iniciaram-se as implantações dos cabos submarinos ao longo dos trajectos escolhidos, operação que foi concluída em 1999.

## Preparativos

No final do ano de 2000 a CPRM, conhecedora dos elevados custos e outros prejuízos graves que podiam resultar pelo facto dos cabos submarinos sofrerem agressões, acordou com o IH a realização de um projecto de assinalamento marítimo destinado à protecção dos cabos submarinos da rede de fibra óptica dos Açores. Este projecto compreendeu duas grandes fases, a saber:

- Definição das áreas de protecção dos cabos submarinos;
- Implantação de assinalamento marítimo para a delimitação das referidas áreas de protecção e sua percepção pelos navegantes.

Planeou-se iniciar este trabalho efectuando um levantamento da situação orográfica, da batimetria, dos perigos, das actividades da pesca e do tráfego marítimo em geral, nos pontos de amarração dos cabos submarinos, para apurar e ponderar as potenciais causas de perigo existentes, e poder projectar as áreas de protecção nos diversos locais, em função das conclusões obtidas.



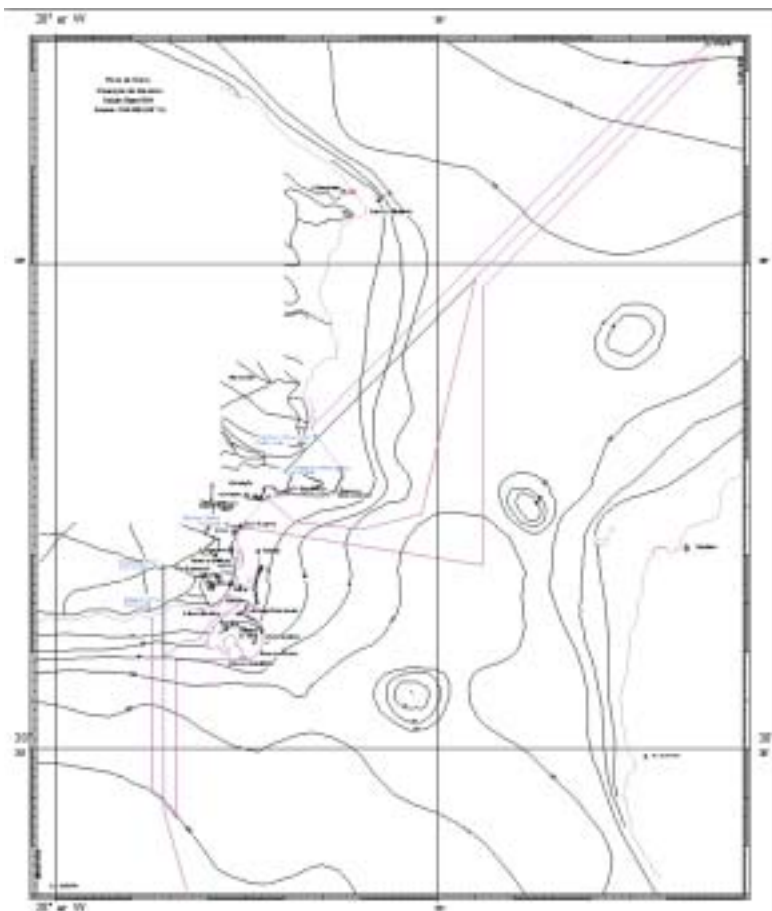
Aspecto de uma carta aérea (ortofotomapa) de Ponta Delgada – Praia Pequena do Pópulo, local onde desembocam os cabos submarinos na Ilha de São Miguel. Esta carta foi gentilmente cedida pela Secretaria Regional da Habitação e Equipamentos da Região Autónoma dos Açores, tendo sido usada na fase de planeamento

Com base nos estudos e análises efectuados, e levando em conta as regras internacionais, a legislação nacional de protecção de cabos submarinos, a especificidade das áreas de interesse e os trajectos dos cabos, acharam-se as soluções consideradas mais adequadas, tanto no que diz respeito à definição das áreas de protecção, como aos locais de implantação do assinalamento marítimo.

Neste âmbito, deslocaram-se aos grupos Central e Oriental do Arquipélago dos Açores, dois oficiais da Divisão de Navegação, para definir e verificar «in loco» a viabilidade dos locais seleccionados para a implantação do assinalamento marítimo.

## Áreas de implantação e respectivo assinalamento marítimo

Decididos os locais de implantação, houve que pensar no tipo de marcas de assinalamento marítimo a utilizar, visando satisfazer as diversas partes interessadas. O objectivo seria a colocação de marcas que pudessem constituir uma boa ajuda à navegação, tanto



Áreas de protecção projectadas para os cabos submarinos nas ilhas Terceira e Faial

diurna como nocturna, permitindo aos navegantes uma fácil percepção da área a evitar. No grupo Oriental foram privilegiados a utilização de enfiamentos e a colocação de alvos visuais nas marcas que os definem, por forma a torná-los bastante conspícuos, também no período diurno.

No grupo Central manteve-se o mesmo tipo de sinalização diurna, mas para o período nocturno, privilegiou-se a utilização de um farol de sectores, onde o sector central tem cor vermelha para assinalar a área interdita. O desenvolvimento de modernas tecnologias permite hoje uma resolução angular na transição da cor da ordem dos minutos, havendo fabricantes que garantem mesmo uma resolução inferior a um minuto. Este desenvolvimento permite definir de um modo muito preciso os limites de um sector. A título de exemplo refira-se que um navio que se encontre sobre a linha de transição entre dois sectores, verá nas asas da ponte cores diferentes e perfeitamente definidas, mesmo a algumas milhas de distância do farol. Utilizando este sistema, não será necessária a colocação de farolins nas marcas anteriores dos enfiamentos, com as inerentes reduções de custos, quer em termos de aquisição quer de manutenção.

Para o lado do mar, a delimitação da área foi definida por uma batimétrica considerada de segurança para os cabos submarinos, tendo em atenção, sobretudo, as actividades de pesca predominantes nos diversos locais.

Com o intuito de garantir e preservar a segurança dos cabos submarinos, e prevenir a ocorrência de acidentes que podem ter consequências materiais gravosas, ou mesmo envolver vidas humanas, foi recomendado adoptar as seguintes medidas:

- Proibição de fundear, utilizar quaisquer artes de pesca que atinjam o fundo e extracção de areia no interior da referida área de protecção;
- Representação dos cabos submarinos, área de protecção e respectivo assinalamento marítimo em todas as *Cartas Náuticas Oficiais* publicadas pelo Instituto Hidrográfico, adequadas à navegação na área afectada;
- Inclusão da informação relativa aos cabos submarinos, área de protecção e respectivo assinalamento marítimo no *Roteiro da Costa de Portugal – Arquipélago dos Açores* e na *Lista de Luzes, Bóias, Balizas e Sinais de Nevoeiro*, vol. I;

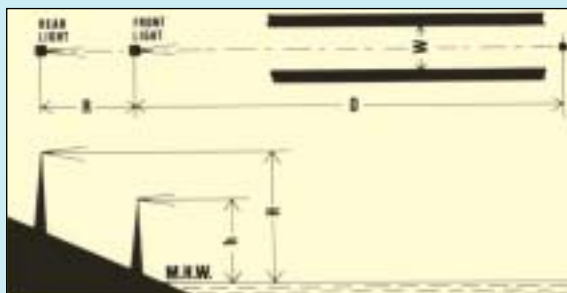
- Acções de informação e sensibilização de autoridades locais e outros agentes locais (Câmaras e Juntas Autónomas, Departamentos de pilotagem, Agentes de Navegação, Instituto de Socorros a Náufragos), de entidades da área da Navegação de Pesca e da Navegação de Recreio;
- Inclusão nos editais que regulamentam a navegação e permanência nos Portos dos Açores, informação relativa à existência de cabos submarinos, área de protecção e respectivo assinalamento marítimo.

## Assinalamento marítimo – Considerações

Para definir os enfiamentos considerou-se o prescrito na «IALA Recommendation on Leading Lights» (IALA Recommendation E-112 May 1998), nomeadamente no que respeita à sensibilidade horizontal. Apesar dos enfiamentos em questão não terem como fim definir uma linha de posição recomendada para a prática de navegação, considerou-se que deveriam ter uma sensibilidade horizontal adequada e que permitissem uma fácil percepção, pelos navegantes, dos limites das áreas dos cabos submarinos.

De acordo com a figura seguinte, foram usadas as seguintes fórmulas de cálculo para determinação das alturas das marcas e distância entre elas, tendo em conta os valores da sensibilidade lateral discriminados na tabela, a distância de utilização dos enfiamentos e as margens de resguardo dos cabos submarinos<sup>1</sup>:

### CÁLCULOS TÍPICOS DE ENFIAMENTOS



Para determinar a altura da marca posterior, partindo de uma marca anterior de altura conhecida:

$$H = (D/650) + h$$

Para determinar a distância entre as marcas anterior e posterior, conhecidas as suas alturas, distâncias de utilização e as margens de resguardo aos cabos submarinos:

$$R = KD(H-h)/W$$

<sup>1</sup> Distância mínima, considerada de segurança, dos cabos submarinos aos limites exteriores das áreas de protecção, ou seja, às direcções definidas pelos enfiamentos.

### LEGENDA

<b>H</b>	altura da marca posterior acima do nível médio do mar
<b>h</b>	altura da marca anterior acima do nível médio do mar
<b>D</b>	distância da marca anterior ao até onde o enfiamento vai ser usado
<b>R</b>	distância entre as marcas posterior e anterior
<b>W</b>	largura do canal (neste caso, distância mínima de resguardo dos cabos submarinos ao limite da área)
<b>K</b>	coeficiente da sensibilidade lateral (valor óptimo 2.5)
<b>MHW</b>	nível médio do mar

### SENSIBILIDADE LATERAL

Valor do coeficiente	Classificação	Comentário
< 1	Pobre	Não aceitável
1.0 – 1.5	Suficiente	Aceitável
2.0 – 2.5	Boa	Efectivo
3.0 – 3.5	Muito Boa	Excelente
4.0 – 4.5	Excelente	Demasiado sensível

Desta forma, e arranjando soluções de compromisso para os diferentes casos, foram definidos os locais de implantação, as alturas e as distâncias de separação das marcas que vão constituir os enfiamentos.

Para a determinação dos enfiamentos, foram ainda consultadas as seguintes recomendações da IALA:

- «Recommendation for the determination of luminous intensity of a marine aid to navigation light», December 1977;
- «Recommendation for the notation of luminous intensity and range of lights», November 1966.

Para tornar os alvos visuais diurnos conspícuos durante o dia, optou-se por pintá-los com três listas verticais (branco ao centro e vermelho nas extremidades).

As dimensões dos alvos, bem como as larguras das listas verticais foram definidas recorrendo às seguintes fórmulas:

Distância máxima de observação (milhas)	Largura mínima (W) do alvo (metros)
0.25	0.2
0.5	0.4
0.75	0.6
1	0.8
2	1.5
3	2.3
4	2.9
5	3.7

A título de exemplo, refira-se o caso do enfiamento a implantar na praia do Almoxarife, ilha do Faial:

A distância máxima de utilização do enfiamento serão cerca de três milhas, zona onde se atinge a bati-

métrica de segurança dos cabos submarinos (limite exterior da área de protecção para o lado de mar).

Recorrendo às fórmulas apresentadas na tabela e na figura anteriores, foram definidas as dimensões dos alvos visuais diurnos, conforme se indica:

**ALTURA DO ALVO** =  $2W = 6$  metros

**LARGURA DO ALVO (W)** = 3 metros

**LARGURA DAS RISCAS VERMELHAS** =  $3W/8 = (3 \times 3)/$

$/8 = 1.1$  metros

**LARGURA DA RISCA BRANCA** =  $W/4 = 3/4 = 0.8$  metros

## Considerações finais

Encontra-se actualmente, este projecto, em fase de apreciação por parte das entidades locais a fim de ser emitido um parecer para a implantação das marcas que virão a constituir o assinalamento marítimo das zonas de protecção dos cabos submarinos de fibra óptica dos Açores, Grupos Oriental e Central.

A Companhia Portuguesa Radio Marconi está a efectuar as diligências necessárias por forma a que mal seja obtida a autorização das entidades competentes, se inicie imediatamente a implantação do assinalamento marítimo. Em Outubro de 2001, ocorreu um acidente que danificou um dos cabos que desembocam na Ilha Graciosa. Este acidente cuja causa foi referenciada como potencial perigo no relatório do projecto de assinalamento marítimo elaborado pelo Instituto Hidrográfico,

obrigou a trabalhos morosos de reparação e custos elevados, reforçando a celeridade com que deve ser encarada a implantação das áreas de protecção e respectivo assinalamento marítimo.

O Instituto Hidrográfico, no âmbito das suas responsabilidades na contribuição para a segurança da navegação, irá promulgar e divulgar os Avisos aos Navegantes adequados por forma a actualizar os documentos náuticos oficiais com toda a informação respeitante aos cabos submarinos, à sua área de protecção e ao respectivo assinalamento marítimo.

## Bibliografia

- a. *Regulamento de Balizagem Marítima*, Portaria n.º 450/93, de 29 de abril, dos Ministros da Defesa Nacional e do Mar.
- b. *Protecção dos cabos submarinos*, Decreto-Lei n.º 507/72, de 12 de Dezembro.
- c. *Roteiro da Costa de Portugal – Arquipélago dos Açores*, 2.ª edição, 2000.
- d. *Estudo para implantação de uma rede de interligação óptica nos Açores*, REL. FT. LH 28/96, DEZ 96.
- e. *Grupo Anual de Avisos aos Navegantes 2001*, Aviso Especial n.º 15.
- f. *Regulamento Geral das Capitanias*, Decreto-Lei n.º 265/72, de 31 de Julho, e alterações e rectificações efectuadas até ao Decreto-Lei n.º 26/95, de 08 de Fevereiro.
- g. *Regulamento da Náutica de Recreio*, Decreto-Lei n.º 329/95, de 9 de Dezembro.

# Geoquímica dos sedimentos na plataforma continental na zona compreendida entre os paralelos da Ericeira e da Figueira da Foz

Maria Paula Mendes

ESTAGIÁRIA DA QP

Carla Palma

TS1

**Resumo** O oceano é um ecossistema frágil e uma fonte de recursos para a humanidade, estando os dois interligados. A caracterização ambiental, relativa à concentração em metais pesados nos sedimentos, na zona compreendida entre o paralelo da Figueira da Foz e o paralelo da Ericeira, tem como finalidade contribuir para um melhor conhecimento do ambiente marinho e da acção do Homem sobre o mesmo.

**Abstract** *The ocean is a fragile ecosystem and a source of economic richness for Mankind, being both interconnected. The heavy metals monitoring in sediments, in the zone between the parallels of Figueira da Foz and Ericeira, aims to contribute for a better knowledge of the marine environment and the consequences of human action in it.*

## Introdução

O Instituto Hidrográfico tem a seu cargo desde 1974 um programa de Cartografia Sedimentar que tem como finalidade a publicação de 8 folhas da «Carta dos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental» à escala 1:150 000. Para a execução deste programa, foram recolhidas amostras do leito e subsolo marinho, tendo sido realizadas várias missões de nome genérico SEPLAT. O presente trabalho refere-se a análises químicas e granulométricas efectuadas, para averiguação da concentração em metais pesados nos sedimentos, em amostras localizadas na zona compreendida entre os paralelos da Ericeira e da Figueira da Foz, que foram recolhidas nas missões SEPLAT 21 a SEPLAT 26.

O objectivo deste trabalho consiste na determinação do teor em metais pesados (alumínio (Al), crómio (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), mercúrio (Hg), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn)) nos sedimentos e na relação dos mesmos com a sua provável origem no litoral – monitorização da qualidade ambiental.

Os metais pesados não são biodegradáveis, entrando num ciclo ecológico global em que as águas são um bom meio de transporte. Estes apresentam propriedades tóxicas quando têm concentrações elevadas. Na tentativa de se apreciar os teores em metais pesados nos sedimentos,

estes foram comparados com o Decreto-lei n.º 141/95, relativo à imersão de material dragado, no qual são referidos os metais com os respectivos teores para o material dragado considerado limpo, com contaminação vestigiária ou ligeiramente contaminado. Também foram comparadas as concentrações de metais, nos sedimentos, tendo em conta o relatório da Comissão para a Protecção do Ambiente Marinho do Atlântico Nordeste (OSPAR, 2000), no qual, é referida uma tabela, que não tendo carácter legal, apresenta valores de acordo com um critério ecotoxicológico. Segundo este critério, valores abaixo do intervalo referido na tabela têm um efeito adverso mínimo para o ecossistema.

Para a interpretação do teor em metais pesados nos sedimentos foi utilizado como factor de normalização o tamanho do grão. Esta normalização visa compensar a variabilidade natural dos metais nos sedimentos, de modo a poder detectar e quantificar a contribuição antropogénica (Palma, 1997). O conteúdo em metal nos sedimentos não é uniformemente distribuído nas fracções com granulometria diferente. Os metais pesados concentram-se essencialmente na fracção mais fina, isto porque normalmente, as concentrações em metais pesados aumentam à medida que diminui o tamanho da partícula devido ao aumento da superfície de adsorção.

O alumínio foi utilizado como indicador das variações mineralógicas dos sedimentos, uma vez que

permite detectar a quantidade de aluminossilicatos presentes nos minerais argilosos e é, de um modo geral, considerado um elemento não contaminante.

Na tentativa de averiguar a proveniência dos sedimentos da plataforma continental considerou-se um estudo efectuado por Alveirinho Dias (1987). De acordo, com este trabalho, a plataforma continental foi dividida em 5 regiões distintas com base na análise batimétrica e noutros parâmetros tais como: geologia, fisiografia, climatologia e rede de drenagem. A zona compreendida entre os paralelos da Ericeira e da Figueira da Foz está situada nas seguintes regiões: Região A (do paralelo da foz do rio Minho ao canhão submarino da Nazaré) e Região B (do canhão submarino da Nazaré ao cabo Raso). Estas duas regiões foram subdivididas tendo em conta a zona em estudo:

- Região A<sub>1</sub>, compreendida entre o paralelo da Figueira da Foz e o Canhão submarino da Nazaré;
- Região B<sub>1</sub>, compreendida entre o canhão submarino da Nazaré e o paralelo da Ericeira.

O canhão submarino da Nazaré faz então, a divisão destas duas sub-regiões morfologicamente distintas, e começa a definir-se na batimetria a 50 m, no limite setentrional. Este forma profundo entalhe na plataforma continental, apresentando a vertente norte relativa simplicidade de formas, enquanto que, a vertente sul é bastante mais complexa (fig. 1).

Estas duas regiões (A<sub>1</sub> e B<sub>1</sub>) têm características distintas no que respeita à origem e ao transporte dos sedimentos do litoral para a plataforma (Alveirinho Dias, 1987) e (Óscar Ferreira et al, 1989) (Tabela 1).

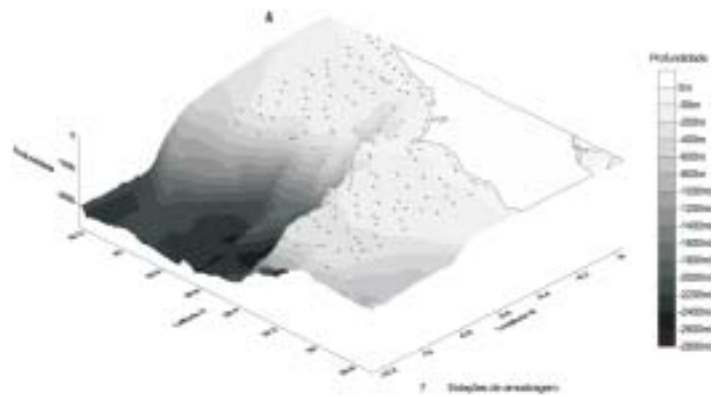


Fig. 1 – Relevô da zona em estudo com a localização das estações de recolha dos sedimentos.

A sul, na região B<sub>1</sub>, ao largo da costa da Ericeira, é possível existirem sedimentos provenientes do estuário do rio Tejo, uma vez que, existe uma corrente residual com tendência de transporte para NW e, existe o efeito da corrente de vertente continental com transporte para norte, que pode considerar-se permanente abaixo dos 100-300 m, (Relatório Síntese do Programa de Monitorização elaborado para a SANEST S.A., 1999).

## Parte Experimental

Definiu-se uma malha de amostragem, tendo em conta a complexidade morfológica, os limites e os dados sedimentológicos da área em estudo, de forma a permitir uma cobertura geográfica satisfatória relativamente

TABELA 1 – Principais características das regiões consideradas na plataforma continental

Região compreendida entre o paralelo da Figueira da Foz e o canhão submarino da Nazaré	Região compreendida entre o canhão submarino da Nazaré e o paralelo da Ericeira
Batimetria simples, suave com batimétricas paralelas à costa.	Batimétricas formando figuras complexas
Os principais rios tributários desta zona são o Mondego e o Liz. O estado actual de assoreamento dos estuários destes rios indica que o abastecimento de partículas terrígenas provenientes do continente se atenuou recentemente.	Não existem rios tributários importantes que drenem esta região da plataforma. Apresenta as maiores percentagens de componente biogénica de toda a plataforma continental, consequência da ausência de rios importantes que para aí transportem materiais provenientes do continente e da eficácia do canhão submarino da Nazaré como barreira aos materiais provenientes da região setentrional.
A erosão das arribas (talhadas em dunas, arenitos e rochas carbonatadas) deverá fornecer quantidade apreciável de sedimentos para o litoral principalmente a norte de S. Pedro de Muel, onde predominam as arribas e dunas.	As zonas com altas frequências em terrígenos estão claramente relacionadas com o desmantelamento e erosão de afloramentos rochosos (incluindo as ilhas da região de Peniche).
Os sedimentos são sujeitos à deriva continental ( direcção N- S) sofrem acção do canhão submarino da Nazaré, devendo ser captados para ele e por ele drenados para fora da plataforma.	Na região compreendida entre Nazaré e Peniche, o canhão submarino da Nazaré é responsável em parte, pela menor quantidade de minerais pesados e sedimentos grosseiros, visto que esta zona não tem fontes alimentadoras e vê assim reduzida a quantidade de sedimentos vindos do norte ao mesmo tempo que os materiais existentes na zona lhe são retirados.



ao sedimento superficial. As colheitas dos sedimentos marinhos foram efectuadas com uma draga Smith and McIntyer.

Após a colheita, as amostras dos sedimentos para análise dos metais pesados foram congeladas a  $-18^{\circ}\text{C}$ , limitando-se, deste modo, a actividade biológica, e possíveis transformações químicas, até posterior análise.

Em laboratório as amostras húmidas dos sedimentos foram classificadas de acordo com a sua granulometria e divididas em duas fracções: a correspondente à fracção total ( $<2\text{mm}$ ) e a que corresponde à fracção  $<63\mu\text{m}$ .

Após fraccionamento procedeu-se à secagem das amostras por liofilização.

Para a determinação dos metais pesados as amostras foram digeridas em microondas com ácidos apropriados (método adaptado de D. H. Loring, 1990) de modo a obter-se elementos metálicos na forma inorgânica simples.

Após a digestão a determinação final dos diferentes elementos metálicos foi efectuada por Espectrometria de Absorção Atómica.

## Apresentação dos resultados

Apresenta-se na fig. 2 a distribuição da granulometria das amostras de sedimentos marinhos superficiais. Como se pode verificar junto à costa existe maioritariamente uma faixa de areia. Na batimétrica dos 200 m (bordo do canhão submarino da Nazaré) existe uma granulometria fina; a sul do cabo Carvoeiro, para profundidades superiores a 200 m encontra-se uma zona de areias.

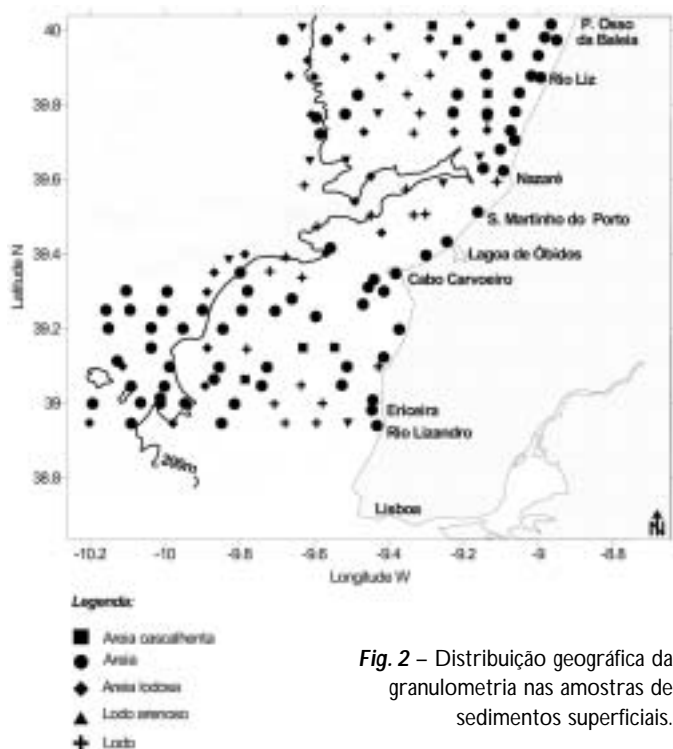


Fig. 2 – Distribuição geográfica da granulometria nas amostras de sedimentos superficiais.

Na fig. 3 está representada a distribuição da matéria orgânica na área em estudo. Verifica-se, abaixo dos 100 m, maiores concentrações em matéria orgânica na fracção total dos sedimentos.

As concentrações mais elevadas encontram-se a sul do cabo Carvoeiro e no bordo do canhão submarino da Nazaré.

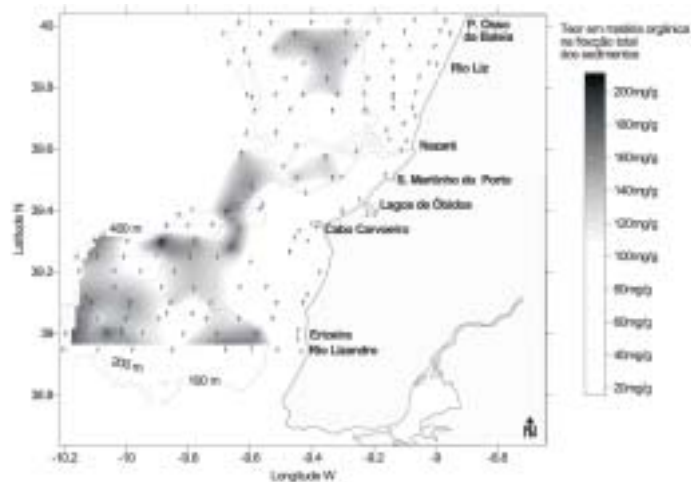


Fig. 3 – Distribuição geográfica do teor em matéria orgânica na fracção total dos sedimentos.

As figs. 4 a 13 apresentam a distribuição geográfica dos diferentes metais pesados analisados.

O alumínio (Al) apresenta as maiores concentrações, junto ao litoral na batimétrica dos 100m a norte da Nazaré e no bordo do canhão submarino.

Os teores mais elevados de cobre (Cu) situam-se no bordo do canhão submarino da Nazaré assim como a norte desta unidade fisiográfica. Estes valores correspondem a sedimentos de granulometria mais fina (areia lódosa, lodos).

Para o manganês (Mn) surgem as concentrações mais elevadas junto à batimétrica dos 100m a norte da Nazaré.

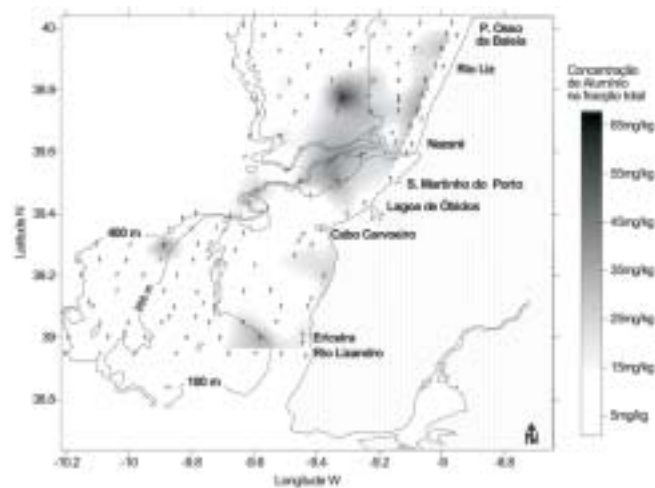


Fig. 4 – Distribuição geográfica da concentração de alumínio na fracção total dos sedimentos.

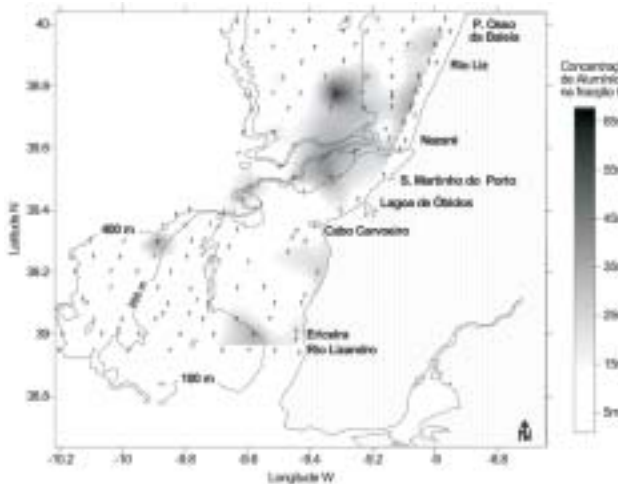


Fig. 5 – Distribuição geográfica da concentração de cobre na fracção total dos sedimentos

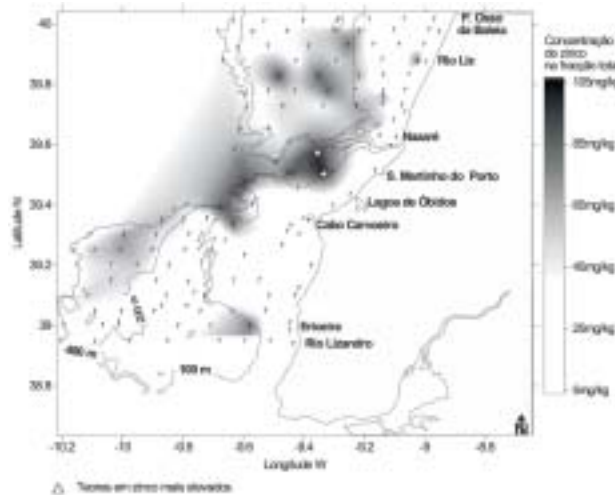


Fig. 8 – Distribuição geográfica do teor em zinco na fracção total dos sedimentos

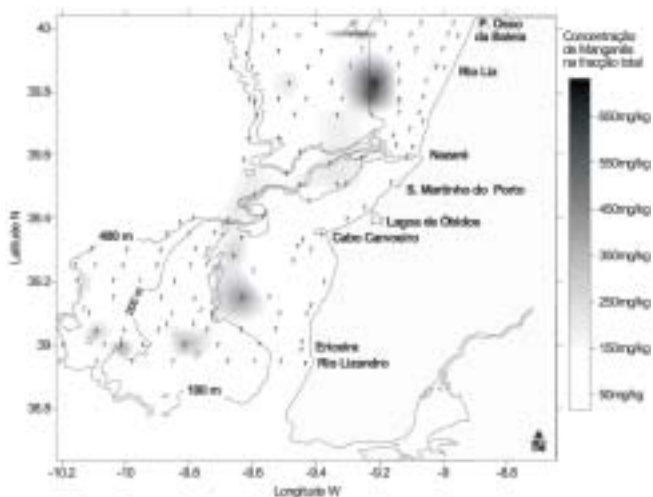


Fig. 6 – Distribuição geográfica do teor em manganés na fracção total dos sedimentos

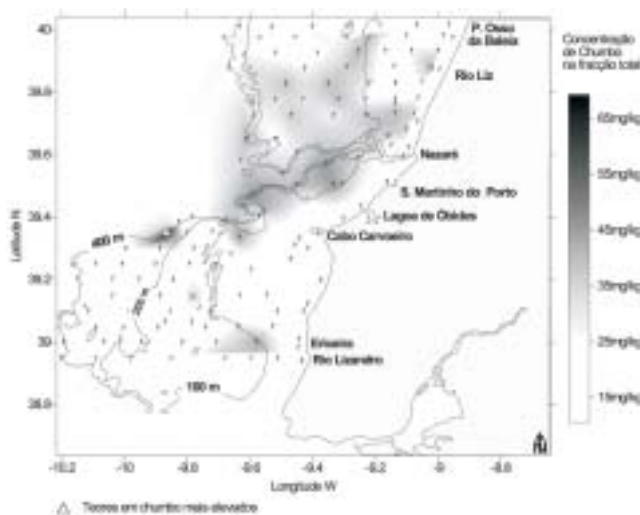


Fig. 9 – Distribuição geográfica do teor em chumbo na fracção total dos sedimentos

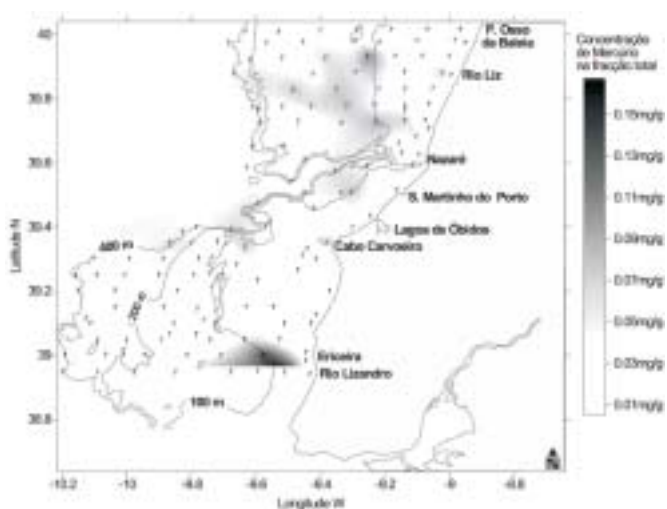


Fig. 7 – Distribuição geográfica do teor em mercúrio na fracção total dos sedimentos

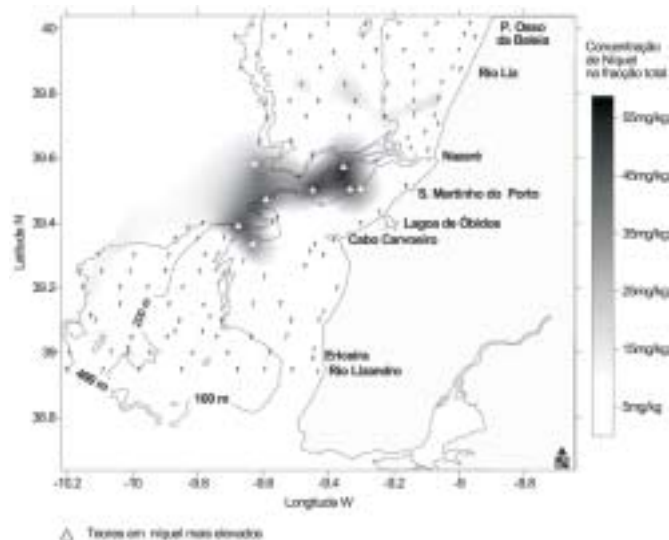


Fig. 10 – Distribuição geográfica do teor em níquel na fracção total dos sedimentos

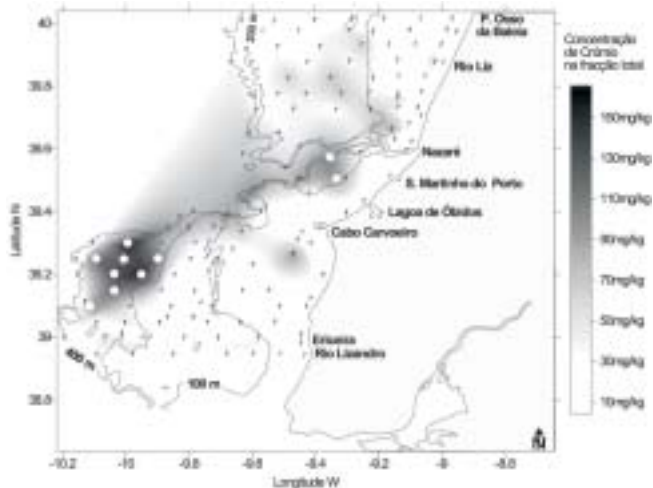


Fig. 11 – Distribuição geográfica da concentração de crómio na fracção total dos sedimentos

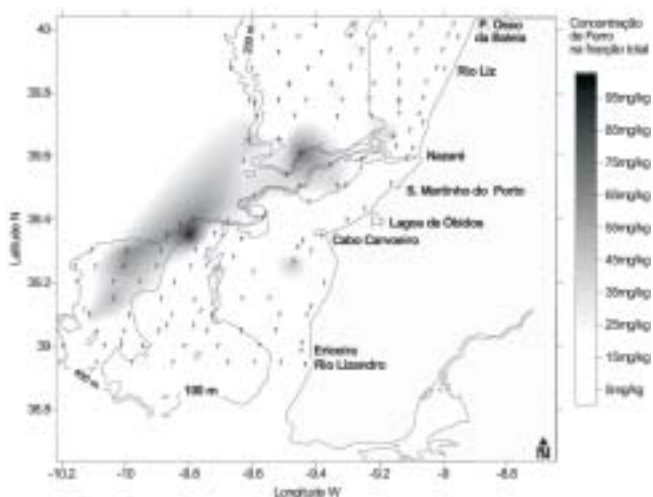


Fig. 12 – Distribuição geográfica da concentração de ferro na fracção total dos sedimentos

As concentrações mais elevadas de mercúrio (Hg) encontram-se a sul do cabo Carvoeiro e correspondem a sedimentos de granulometria fina (lodo).

As concentrações maiores de zinco (Zn) situam-se nos sedimentos mais finos. No bordo do canhão submarino da Nazaré encontram-se os teores mais elevados.

O chumbo (Pb) é mais abundante a norte do cabo Carvoeiro como se pode observar na figura seguinte.

No bordo do canhão submarino da Nazaré encontram-se os teores mais elevados de níquel (Ni).

Os teores mais elevados de crómio (Cr) situam-se a sul do cabo Carvoeiro a uma profundidade entre os 200 e os 400 metros. Na vertente sul do canhão submarino aparecem, também, teores elevados.

A sul da Nazaré, situam-se as concentrações mais elevadas de ferro, a uma profundidade entre os 200 e 400 m.

Verifica-se para o crómio, contrariamente ao esperado, que os teores mais elevados se encontram na

fracção total e não na fracção fina como seria de esperar. Na figura 13 observa-se, então, maiores concentrações, deste elemento, na fracção total dos sedimentos (<2mm).

Na fig. 12, observa-se que as concentrações mais elevadas de ferro, também, se encontram na fracção total dos sedimentos.

## Considerações finais:

Considerou-se neste estudo, como mecanismo de dispersão de metais pesados que os sedimentos provenientes do norte sofrem a acção da deriva litoral de direcção N-S, sendo maioritariamente captados pelo canhão submarino da Nazaré. A sul do cabo Carvoeiro, ao largo da Ericeira, visto não existirem rios tributários importantes, far-se-á, provavelmente, sentir a acção do rio Tejo como fonte dos sedimentos.

Nesta região, é notória a influência do canhão submarino da Nazaré como responsável pela subtracção parcial de material em deriva litoral. É possível, que o bordo desta unidade fisiográfica funcione como zona de captação e acumulação de metais pesados. Em relação à acumulação no bordo, esta será, provavelmente, transitória e poderá dever-se ao facto dos sedimentos serem de granulometria fina, facilitando a adsorção em metais pesados.

Tendo em atenção o Decreto-lei n.º 141/95 tentou-se apreciar a contaminação nos sedimentos em termos dos teores em metais pesados, concluindo-se que:

- No bordo do canhão submarino da Nazaré temos duas estações com teor em zinco indicativo de material com contaminação vestigiária (fig. 8).
- Existe uma única estação com contaminação vestigiária de chumbo (fig. 9).
- O níquel existente nos sedimentos, no bordo do canhão submarino da Nazaré, apresenta uma contaminação vestigiária (fig. 10).
- Os teores mais elevados de crómio nos sedimentos são indicativos de material ligeiramente contaminado (fig. 11).
- Os restantes metais apresentam teores característicos de material limpo.

De acordo com o Critério de Avaliação Ecotoxicológico mencionado no relatório da OSPAR considera-se que a maioria dos metais, apresenta valores abaixo do referido critério, com excepção do crómio, cujos valores são ligeiramente acima.

A sub-região (B<sub>1</sub>) compreendida entre o canhão submarino da Nazaré e o paralelo da Ericeira apresenta as maiores concentrações em matéria orgânica uma vez que os sedimentos apresentam uma maior percentagem de



Fig. 13 – Teor em crómio na fracção total e fina



Fig. 14 – Teor em ferro nas fracções total e fina

componente biogénica. Nesta sub-região as concentrações mais elevadas de mercúrio, zinco e chumbo podem dever-se a sedimentos provenientes do rio Tejo visto que a corrente residual deste rio tem direcção NW e estes metais são maioritariamente de origem antropogénica.

Quanto à sub-região ( $A_1$ ) compreendida entre o paralelo da Figueira da Foz e o canhão submarino da Nazaré esta apresenta as concentrações dos metais pesados de uma forma mais uniforme que a sub-região anterior ( $B_1$ ). É uma região que não apresenta indícios de contaminação relevantes.

A existência de maior teor em ferro, na fracção total dos sedimentos relativamente à fracção fina, poderá ser explicada por estas amostras serem, maioritariamente, de areia e possuírem glauconites ricas em ferro ( $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$ ) de dimensão superior a 63  $\mu m$ .

O alumínio está mais concentrado junto à costa o que indica uma quantidade superior de aluminossilicatos para profundidades da ordem dos 100 m.

Não existem dados que indiquem a origem dos sedimentos ligeiramente contaminados de crómio a sul do cabo Carvoeiro a uma profundidade entre os 200 e 400 m.

Na totalidade da zona estudada, não existem indícios que evidenciem uma contaminação em metais pesados, podendo esta ser atribuída a causas naturais para a maior parte dos teores encontrados.

## Bibliografia

- Alveirinho Dias, João Manuel (1987). *Dinâmica Sedimentar e Evolução Recente da Plataforma Continental Portuguesa Setentrional*, pp. 39-60. Lisboa.
- Commission of the Marine Environment of the North-East Atlantic (2000). «Quality Status Report, Region IV Bay of Biscay and Iberian Coast», pp. 55. OSPAR, London.
- Ferreira, Óscar, Alveirinho Dias, J., Soares de Carvalho, G. (1989). Relatório DISEPLA 8/88 – *Síntese dos conhecimentos sobre a dinâmica sedimentar da zona costeira entre Peniche e o rio Minho*, pp. 3-8. DISEPLA, Lisboa.
- Palma, Carla (1997). *Relatório Técnico Final de Estágio*, pp. 21-23. Instituto Hidrográfico – Divisão de Química e Poluição do Meio Marinho, Lisboa.
- Relatório Síntese do Programa de Monitorização elaborado para a SANEST S.A. – Emissário Submarino da Guia* (1999), pp. 59-78. Instituto Superior Técnico, Universidade de Aveiro, INETI-ITA, Instituto Hidrográfico.
- Loring, D. H., Rantala, R.T. T. (1990). *Techniques in Marine Environmental Sciences* No. 9, «Sediments and Suspended particulate matter: Total and partial methods of digestion». International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen.

# Gestão e Armazenamento de Dados Batimétricos

Santos de Campos

PRIMEIRO-TENENTE

**Resumo** Após vários anos de aquisição de dados batimétricos, tendo como principal objectivo a construção de cartas oficiais de navegação, surge agora a questão de como gerir e armazenar eficazmente este valioso património institucional.

Factores como a evolução tecnológica verificada nos últimos anos, que contribuíram para uma contínua adaptação aos novos meios de aquisição e suporte de dados, vieram degradar e dificultar os métodos de gestão e armazenamento dos dados. Entre outros factores, salientam-se a utilização de diferentes sistemas de aquisição, as diferentes estruturas de dados associadas a esses sistemas, os diferentes suportes magnéticos para armazenamento dos dados e suas tecnologias associadas, bem como o aumento exponencial do volume de dados a gerir com a adopção da tecnologia multifeixe.

Por outro lado, essa mesma evolução tecnológica veio também oferecer ferramentas que permitem contornar este problema de gestão. Aplicando os conceitos de *Data Warehousing* (Armazenamento de Dados) e as tecnologias de gestão de bases de dados, que suportam dados geo-referenciados, torna possível constituir um repositório único e coerente para os dados batimétricos oriundos dos diversos sistemas de aquisição.

Neste artigo é apresentado um modelo de armazenamento de dados batimétricos (aqui designado por HDW – *Hydrographic Data Warehouse*), o qual foi especialmente concebido para o Instituto Hidrográfico. Usando um Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD) comercial – Oracle8i *Spatial* – como tecnologia fundamental, este modelo permite o carregamento e acesso de dados batimétricos, escondendo a complexidade de comunicação directa com um SGBD. Esta simplicidade é conseguida através da utilização de dois programas que foram desenvolvidos para servirem de interface entre os utilizadores e o SGBD permitindo-lhes, ainda que não familiarizados com SQL (*Structured Query Language*), o acesso a este tipo de dados espaciais.

Para testar a eficácia deste modelo foram carregados, com sucesso, vários conjuntos de dados batimétricos provenientes de diversos projectos de sondagem. Subsequentemente foram testadas todas as interrogações à base de dados (*queries*) usando os dados previamente carregados, também com bons resultados. Os resultados dos testes indicam que o modelo pode ser implementado como ferramenta de armazenamento para gerir os dados batimétricos no Instituto Hidrográfico.

**Abstract** *After several years collecting bathymetric data, mainly to produce official nautical charts, the Portuguese Hydrographic Institute faces now the challenge on how to manage this valuable legacy.*

*Technological evolution has resulted in different media storage formats, different logging systems holding their own data structures, and new types of bathymetric data, all of which have challenged the design of an effective data management system.*

*On the other hand, new enabling technologies are capable of easing these data management problems. Data Warehouse concepts, and spatial database technologies, now permit the assembly of large disparate sets of bathymetric data into a unique repository – A Hydrographic Data Warehouse.*

*This paper presents a Hydrographic Data Warehouse model specially designed for the Portuguese Hydrographic Institute (IHPT). Using an off-the-shelf database system – Oracle8i Spatial- as its foundation, it allows users to store and retrieve spatial data, hiding the complexity of communicating directly with a Relational Database Management System (RDBMS). This simplicity of use is achieved through an appropriate user interface (two suitable layers of software) to load and to access data. This interface allows users not familiar with Structured Query Language (SQL) to load and to access bathymetric data to and from the repository.*

*To test the effectiveness of this prototype model, several packs of bathymetric data provided by the IHPT were successfully loaded into the warehouse. Subsequently, all embedded queries to access data were tested, using the previously loaded spatial data, with good results. These test results indicate that this model can be implemented as a warehouse tool to hold bathymetric data within a Hydrographic Office.*

## 1. Introdução

Após vários anos a desempenhar a sua principal missão, a construção e actualização de cartas náuticas oficiais, o Instituto Hidrográfico (IH) sente agora a necessidade de gerir e armazenar de uma forma eficaz os dados batimétricos. De uma forma genérica podemos salientar que estes dados legados constituem o verdadeiro património do IH.

Contudo, existem vários problemas relacionados com a gestão deste tipo de dados. A adopção de novos meios e tecnologias associadas vieram de uma forma geral modificar o conceito clássico da hidrografia. O novo conceito, para além de exigir um maior conhecimento técnico dos novos equipamentos por parte dos seus utilizadores, vem também permitir um maior e mais rigoroso volume de dados hidrográficos. Para além do volume acrescido de dados, que naturalmente vai criar dificuldades associadas à sua gestão, existem outros problemas. Tais problemas resultam da utilização de diferentes sistemas de aquisição, que implicam diferentes estruturas de dados, diferentes formas de arquivar os dados, bem como de diferentes sistemas de geo-referenciação, que poderão causar dificuldades quando se combinam dados de diferentes projectos de sondagem.

Com base nos conceitos de *Data Warehousing*, sobejamente implementados no mundo comercial, e fazendo uso de um Sistema de Gestão de Base de Dados com a capacidade de suportar um tipo especial de dados – dados geo-referenciados – é agora possível estabelecer uma infra-estrutura capaz de providenciar um armazenamento e gestão eficaz dos dados batimétricos. Esta infra-estrutura, *Hydrographic Data Warehouse*, permitirá armazenar dados batimétricos oriundos de diversos sistemas de aquisição, em diversos sistemas de referência, num único e coerente repositório de dados. Para atingir este objectivo foram identificadas e minimizadas as questões que envolvem, directa e indirectamente, a gestão de dados batimétricos. De seguida, foi estabelecido um modelo segundo o qual a informação batimétrica e os seus atributos associados foram armazenados. Paralelamente, foram desenvolvidos os interfaces gráficos através dos quais o utilizador poderá carregar e extrair dados batimétricos necessários à execução de um determinado trabalho.

## 2. Problemas associados à gestão de dados batimétricos

Como descrito anteriormente, o primeiro passo para o estabelecimento de um sistema de informação desta natureza consiste em identificar e minimizar os factores que de alguma forma diminuem a performance da gestão de dados batimétricos. Entre vários factores identificados salientam-se os seguintes:

**Estrutura de Dados** – Definida neste caso como sendo o formato em que os ficheiros de dados são gerados pelos sistemas de aquisição. Normalmente, a cada sistema de aquisição está associado um formato próprio que é compatível com o próprio programa de aquisição. Este facto cria uma dependência entre os dados e o sistema de aquisição, pelo que será necessário manter a operacionalidade dos programas que os geraram para haver capacidade de leitura. Na maioria dos casos, estes dados são escritos em formato ASCII, que de certa forma torna a estrutura aberta desde que se consiga identificar o conteúdo do ficheiro. Como mencionado anteriormente, o facto de a evolução tecnológica ter forçado a adopção de novos sistemas de aquisição de dados vem naturalmente gerar o aparecimento de diferentes estruturas de dados.

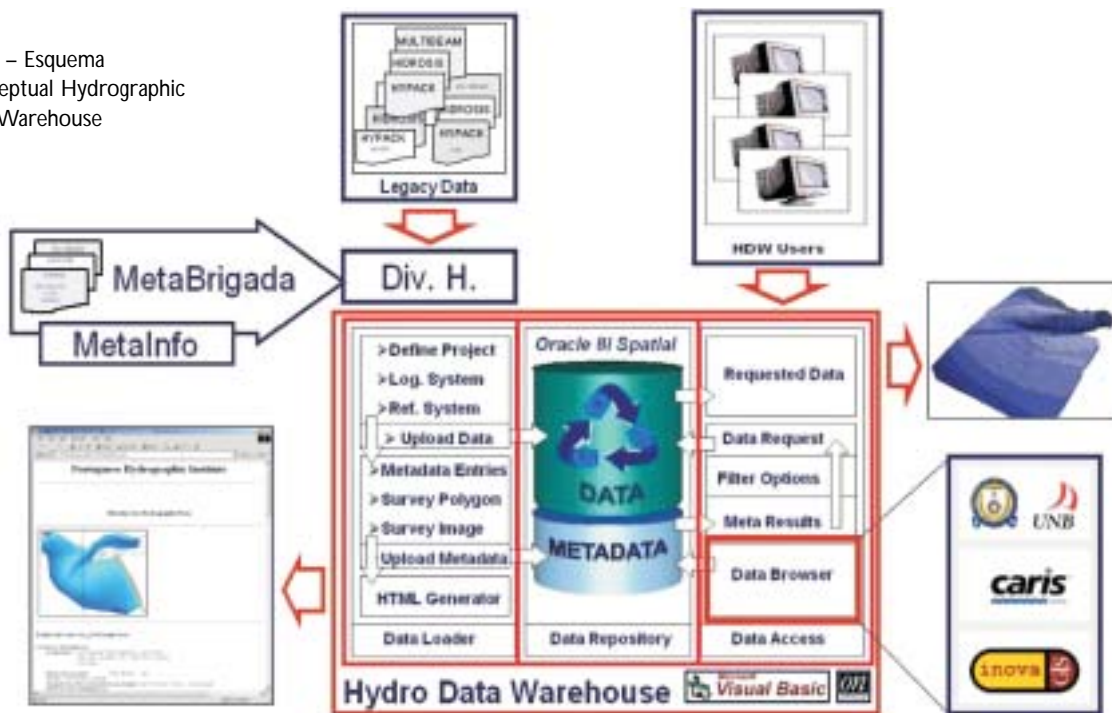
**Suporte Físico de Dados** – À semelhança da estrutura de dados, o suporte físico onde os dados estão guardados cria também uma certa dependência. Neste caso, a dependência deve-se não aos programas de leitura, mas sim com os dispositivos físicos de leitura (considerando dados sob a forma digital). Analogamente à evolução do *software*, o *hardware* tem progredido no sentido de aumentar a capacidade de volume de arquivo e de robustez do meio. A aquisição de dados batimétricos (na realidade, de quaisquer tipos de dados) ao longo de um grande período de tempo vai forçosamente gerar um arquivo de dados nas mais diversas formas de suportes físicos. Este problema só poderá ser colmatado se existir um critério de migração de dados para suportes físicos mais recentes ou se se providenciar um programa de manutenção dos sistemas de leitura de dados ao longo do tempo. Obviamente, a segunda opção é indesejável, dado que o custo de manutenção de uma tecnologia obsoleta é muito elevado.

**Sistemas de Geo-referenciação** – Ao longo dos últimos anos, o Instituto Hidrográfico tem adquirido dados batimétricos em diferentes sistemas de referência. Embora este problema não seja muito relevante, existe uma redução de performance no caso de serem utilizados dados adquiridos em diferentes *data*. Para solucionar tal problema, torna-se necessária a transformação para um sistema de referência único sendo para isso imprescindível o conhecimento exacto de qual o *datum* de aquisição (o que nem sempre está documentado).

**Volume de Dados** – O volume de dados é sem dúvida um dos maiores problemas a ter em consideração na gestão de dados batimétricos. Este facto está relacionado com a natureza dos levantamentos hidrográficos, dado que a execução de determinado projecto pressupõe a aquisição de um elevado número de sondas.

As duas principais razões para esta dificuldade de gestão devem-se, em primeiro lugar, à acumulação dos dados adquiridos continuamente e, em segundo lugar, à

Fig. 1 – Esquema Conceptual Hydrographic Data Warehouse



adopção da tecnologia multifeixe que veio projectar o volume de dados para uma ordem de grandeza muito elevada.

**Metadados** – À semelhança de uma tabela de conteúdos, os metadatos (*Metadata*) não são mais do que dados que descrevem outros dados. Do ponto de vista dos dados batimétricos, os metadados referentes aos respectivos levantamentos hidrográficos são peças importantes na gestão dos dados. Na ausência deste tipo de informação, a interpretação da estrutura de dados e dos sistemas de geo-referenciação acima indicados torna-se bastante falível. Este problema tem sido minimizado à custa dos relatórios dos levantamentos hidrográficos e, mais recentemente, com base em fichas de meta-informação que acompanham os dados de sondagem, sendo ambos habitualmente utilizados na sua versão analógica. No entanto, é recomendado pela Organização Internacional de Hidrografia – Publicação Especial N.º 44 (IHO-SP44), que este tipo de dados deva existir em formato digital para facilitar o acesso aos dados batimétricos.

### 3. Modelo de Armazenamento de Dados Batimétricos

Apesar das limitações mencionadas resultarem da evolução tecnológica, essa mesma evolução oferece ferramentas capazes de garantir uma gestão eficaz deste tipo de dados. Assim, e seguindo conceitos que já deram provas na área comercial no que respeita aos sistemas de apoio à decisão, como é o caso de *Data Warehousing*, em

conjunto com a utilização de um Sistema de Gestão de Base de Dados com capacidades de interpretação de dados geo-referenciados, é possível dispor de uma estrutura capaz de armazenar e gerir os dados batimétricos. No modelo apresentado em seguida foi usado como suporte de dados o SGBD Oracle 8i *Spatial*.

#### 3.1. Armazém de Dados – *Hydrographic Data Warehouse*

O modelo de armazenamento de dados, aqui apresentado, é composto essencialmente por três blocos. Estes blocos, independentes entre si no que respeita à sua concepção, permitem que novas versões de cada um possam ser disponibilizadas sem afectar o modelo em si. Assim, foram estabelecidos os seguintes blocos: o carregador de dados (*Data Loader*), o repositório de dados (*Data Repository*) e o módulo de acesso aos dados (*Data Access*) – fig. 1.

#### 3.2. Carregador de Dados (*Data Loader*)

Este é o primeiro interface que o operador utiliza para interagir com o HDW. Na realidade, este módulo deve ser exclusivamente controlado pelo administrador da *Data Warehouse*, nas funções de responsável pela



Fig. 2 – Barra de opções do Carregador de Dados

integridade dos dados batimétricos. O *Data Loader* é, essencialmente, constituído por três blocos distintos: o *Survey Project Definiton*, o *Metadata Generator* e o *Data Warehouse Uploader* (fig. 2). Cada um deles tem funções bastante específicas para eliminar ou reduzir as limitações indicadas em 2. Além destes três blocos, existem ainda algumas ferramentas auxiliares, nomeadamente um gestor de parâmetros de geo-referenciação.

### 3.2.1. Definição do projecto (Survey Project Definition)

Para se proceder ao carregamento de dados para o repositório, estes devem ser devidamente preparados a fim de se tornarem coerentes entre si, independentemente da sua origem. Assim, o primeiro passo a dar consiste em definir o projecto no qual se vai trabalhar. A definição de um projecto, como apresentada na fig. 3, é conseguida através de uma série de opções que o utilizador terá de executar, tais como a definição do sistema de aquisição e do sistema de referência usado. O utilizador deverá também atribuir um nome ao projecto, nome esse que irá identificar a tabela espacial no repositório.

Posteriormente, o sistema indicará quais os ficheiros a serem transformados, de acordo com o sistema de aquisição adoptado. Após a selecção dos ficheiros a carregar, por parte do operador, o sistema cria os ficheiros contendo as instruções SQL que originam as tabelas espaciais no repositório bem como os ficheiros CTL para popular essas mesmas tabelas (agora em WGS84).

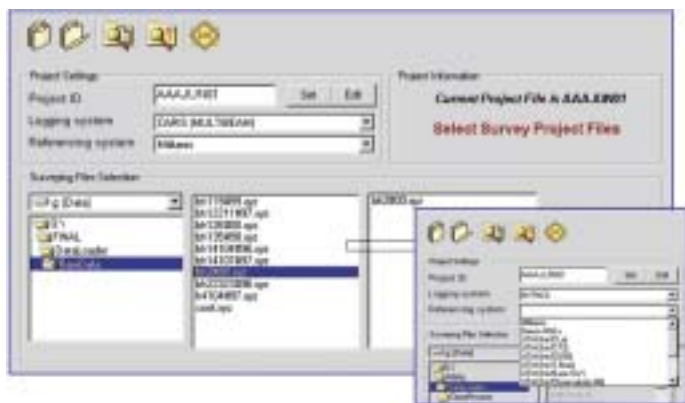


Fig. 3 – Definição do Projecto de Sondagem

### 3.2.2. Gerador de Metadados (Metadata Generator)

O segundo passo no carregamento de dados consiste em documentar esses mesmos dados, o que é conseguido à custa do módulo Gerador de Metadados. Neste módulo, o utilizador deverá abrir o projecto criado anteriormente e o sistema importará toda a informação de interesse existente para este tipo de informação.

O produto final deste módulo gera dois objectos distintos: (1) um ficheiro com os comandos SQL para

inserir os metadados numa tabela apropriada do repositório e (2) uma página em formato HTML que vai permitir aos vários utilizadores de dados batimétricos uma pesquisa através da Intranet/Internet (fig. 4). Este segundo subproduto permite ainda a conjugação desta informação, numa *Data Clearinghouse*, com informação de instituições homólogas.

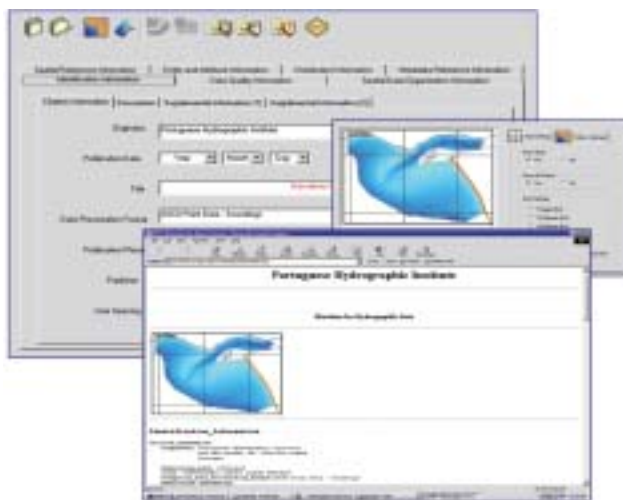


Fig. 4 – Gerador de Metadatos

### 3.2.3. Carregador de Dados (Data Warehouse Uploader)

O último passo desta primeira fase do *HDW* é o carregamento de dados propriamente dito. Trata-se de um processo sequencial que vai actuar na Base de Dados Oracle através das ferramentas disponíveis pelo SGBD. Este processo inicia-se com a selecção do projecto para o qual já foram dados os primeiros e segundos passos (a preparação dos dados e a sua documentação). Após esta selecção, são gerados automaticamente vários ficheiros *batch* com instruções para correr as instruções SQL criadas anteriormente. Estas instruções, como já foi referido, criam as tabelas no SGBD e carregam os dados para as mesmas. Em seguida, as tabelas espaciais e de metadata são indexadas para aumentar a performance durante a extracção de dados. Desta forma, o repositório fica com mais uma camada de informação, correspondente a um levantamento hidrográfico. Essa camada fica visível conforme representada na fig. 5.



Fig. 5 – Carregador de Dados



### 3.3. Repositório de Dados (*Data Repository*)

O repositório de dados não é nada mais do que o uso do SGBD propriamente dito para armazenar os dados batimétricos. Para uma gestão eficaz e coerente foi previamente definido um modelo segundo o qual os dados são armazenados. Sem pormenorizar, os dados batimétricos são geridos relativamente ao projecto que lhes deu origem. Assim, além de existir uma tabela espacial por cada levantamento hidrográfico previamente carregado, vai existir também um registo de metadados desse mesmo levantamento na tabela de metadados do modelo. Paralelamente a estas tabelas (dados e metadados), são ainda criadas e guardadas as respectivas tabelas de indexação espacial.

Analisando o modelo de uma forma espaço-temporal (4 dimensões), podemos imaginar uma caixa, cujas extremidades coincidissem com o domínio da base de dados (sendo este a área de interesse hidrográfico), onde fossem armazenando os projectos (em forma de tabelas espaciais – 3D) e simultaneamente projectando as mesmas numa escala de tempo (4D) (ver Figura 6).

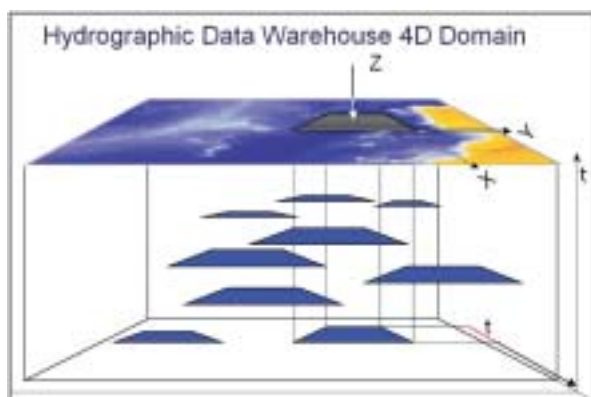


Fig. 6 – Repositório HDW

### 3.4. Acesso aos Dados (*Data Access*)

Actualmente existem dois interfaces de acesso aos dados. O primeiro tem como domínio geográfico o domínio espacial da base de dados, enquanto que no segundo, a extensão da área de interrogação é determinada com base na área de uma carta náutica seleccionada para o efeito. Apesar de inicialmente estarem projectados três interfaces de acesso, é possível que só dois venham a ser concluídos. Tal deve-se ao facto de que o segundo, ainda que não concluído, satisfaz as necessidades requeridas, muito embora ambos sigam o mesmo princípio de funcionamento. Por ainda não estar concluído, este interface não será apresentado neste artigo.

O interface de acesso aos dados permite ao utilizador a construção de interrogações (*queries*) ao armazém de dados batimétricos de uma forma amigável. Para tal,

o utilizador não tem que dominar a linguagem de bases de dados com componente espacial.

Assim, o processo de acesso inicia-se com a construção de uma área de interrogação em formato vectorial com base na selecção prévia no domínio da base de dados (formato *raster*) (fig. 7). Após a selecção e opti-

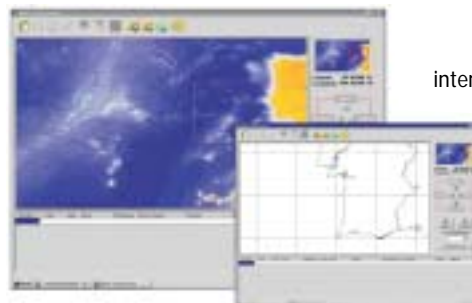


Fig. 7 – Área de interrogação



Fig. 8 – Tipos de interrogações

mização da área de onde se pretende extrair os dados, o utilizador deverá seleccionar um de quatro tipos de interrogações possíveis: pesquisa por janela (rectangular), por polígono, por corredor e por janela ao longo do tempo (fig. 8).

Depois da construção da geometria de interrogação na área do interface, o sistema vai actuar no repositório (fig. 9), reportando os projectos de sondagem que interagem com a geometria definida. Esses valores são reportados conforme a fig. 9.

O último passo na extracção de dados consiste na criação de um ficheiro com a informação requerida. Esta fase só estará disponível a um nível restrito de utilizadores devido ao valor associado aos dados batimétricos.

Assim, e após a reordenação dos metaresultados, o utilizador poderá então extrair os dados batimétricos desejados. Esta extracção poderá ainda ser filtrada entre projectos contíguos em tempo ou com a opção de extrair todos os dados relativos a um projecto. O resultado final sairá no formato de um ficheiro ASCII, que poderá ser

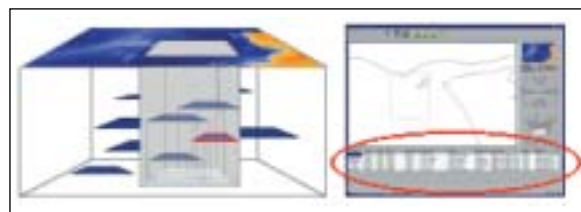


Fig. 9 – Processos de interrogação e respectivos metaresultados

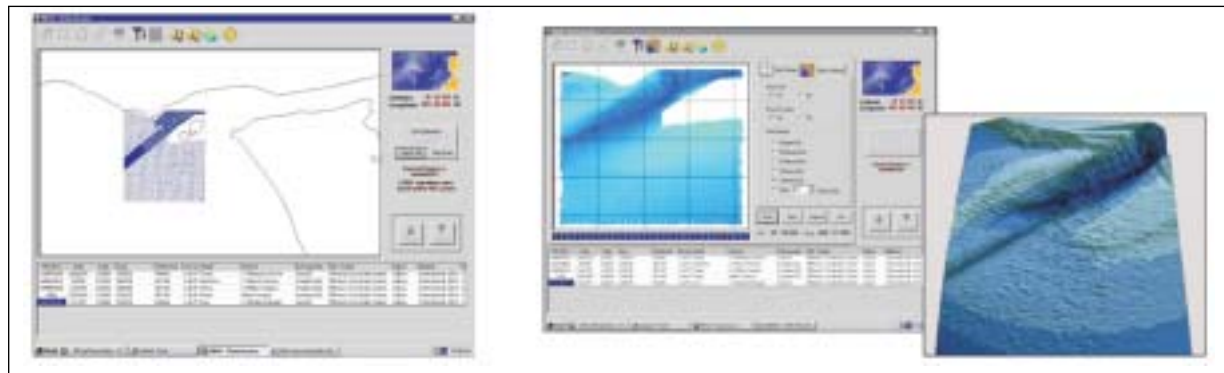


Fig. 10 – Visualização do produto final

importado por diversas ferramentas de produção cartográfica. Estão ainda disponíveis, neste módulo de acesso, algumas ferramentas de visualização que poderão auxiliar o utilizador a visualizar os dados do ficheiro criado (fig. 10).

#### 4. Conclusões

Este artigo começa por apresentar as dificuldades que são sentidas quando se trabalha com a matéria prima na área da cartografia náutica – os dados batimétricos. Não é difícil de prever o tempo e o trabalho despendido na compilação deste tipo de dados para compor um trabalho, em especial se esta informação se encontrar dispersa por vários formatos e sistemas de referência. A solução apresentada por este modelo permite não só poupar tempo na procura de dados, mas também garantir a continuidade dos dados batimétricos do ponto de vista do valor histórico. Esta continuidade permitirá uma análise temporal de evolução do relevo submarino em estudo.

Outra vantagem que este modelo apresenta é a acessibilidade a um maior leque de utilizadores dos dados existentes no Instituto Hidrográfico. Apesar de estar inicialmente projectado para consumo interno, este

modelo poderá facilmente ser adaptado para utilização no exterior através da Internet. Embora tenha que ser sempre garantida a protecção dos dados batimétricos, o autor é da opinião de que estes dados deverão ser disponibilizados para o exterior. Esta garantia poderá ser obtida barrando o sistema aos utilizadores externos ao nível dos metadados.

Em termos de acesso aos dados batimétricos, a capacidade de filtragem em áreas sondadas continuamente é agora possível de uma forma eficiente. Este facto evita que se perca tempo a remover sondas importadas, contudo indesejadas, para a composição de um determinado projecto.

Finalmente, a eficácia deste modelo foi testada com a transformação e carregamento de vários conjuntos de dados oriundos dos mais diversos projectos de sondagem. Foram também testados todos os tipos de interrogações à base de dados, fazendo uso dos dados previamente carregados. Quer no carregamento, quer no acesso aos dados os objectivos propostos inicialmente foram alcançados.

Fazendo uso destes resultados, é possível anunciar que este modelo pode ser implementado como ferramenta de armazenamento para gerir os dados batimétricos dentro do Instituto Hidrográfico, deixando, contudo, uma porta aberta para a evolução natural deste modelo.

# Pre-processing and Post-processing of Model Wave Data in the Nearshore

Eugen Rusu

PROFESSOR (†)

Ventura Soares

CAPITÃO-TENENTE (‡)

**Resumo** O presente artigo surge motivado pelo crescente interesse da Marinha Portuguesa em obter parâmetros de ondulação a partir de modelos de alta resolução, de modo a que sirvam de suporte ambiental em operações anfíbias. São descritas duas ferramentas computacionais com base no *software* MATLAB. Estas ferramentas têm utilização em quase todos os modelos costeiros, com especial interesse pela sua interactividade no âmbito do conceito do *Rapid Environmental Assessment* (REA) em regiões litorais. O modelo espectral de média em fase SWAN foi aqui usado para exemplificação, dado que é, neste momento, a referência internacional neste tipo de modelos. O módulo de pré-processamento designado por BARCO (acrónimo de BATHymetry Reshape and CONfigure) destina-se a visualizar a batimetria, graficar mapas e a gerar malhas, tendo em vista obter, de uma forma rápida, uma adequada caracterização da área de interesse. A ferramenta de pós-processamento proposta (TOTAL WAVE) é um interface com saídas numéricas e gráficas, que permite disponibilizar as condições de ondulação no litoral produzidas pelo modelo, bem como a previsão das condições de rebentação correspondentes a determinadas características de ondulação. A metodologia proposta apresenta ainda uma importante vantagem que se consubstancia na redução do tempo de cálculo do modelo, dado o facto dos módulos referidos calcularem previamente algumas das rotinas mais pesadas. O processo de desenvolvimento deste ambiente computacional tem em conta a possibilidade de estender a sua aplicação a sistemas de detecção remota.

**Abstract** *Motivated by the increasing interest of the Portuguese Navy in obtain results provided by the high-resolution models, as an environmental support in military nearshore and landing operations, the present paper describes two computational tools devised using the Matlab environment. They can be connected together with almost any coastal wave model and would be very useful both in the phase of implementation and calibration of the model as well as an interactive user-friendly tool for rapid environmental assessment in the littoral regions. Since the spectral phase averaging model SWAN was designated by most of the wave prediction programs as the community model in respect to shallow waters it was token also here as a reference. The pre-processing tool was named BARCO (acronym of BATHymetry Reshape and CONfigure) and its functions are to visualize bathymetries, plot maps and isomaps and to generate and reshape grids in order to achieve a quick and adequate selection of the area which is going to be processed. The proposed post-processing tool, named TOTAL WAVE, is an interface with graphical and numerical outputs that makes available the wave conditions in the nearshore as they are delivered by the model and gives a prediction to the surf zone conditions corresponding to the specific wave climate. The methodology proposed induce also as an important advantage a significant decreasing of the computational time of the model because of the number reduced of output requests by taken from the model some of the computational effort. In the process of the further development of this computational environment will be also taken into account the possibility of extending its capabilities from the wave models to the remote sensing systems.*

---

(†) Professor at Galati University, Romania, Ph.D. in Marine Engineering, presently at Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisbon, Portugal, eugene.rusu@hidrografico.pt.

(‡) Head of Division of Oceanography, Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisbon, Portugal, ventura.soares@hidrografico.pt.

## 1. Introduction

A real time evaluation of the nearshore wave conditions is of essential importance in ocean engineering applications for the safe design and exploitation of marine structures and installations as well as for various military operations. For this reason in the last years were developed almost all over the world advanced wave prediction programs emphasizing on the improvement of the wave data assessment in the littoral regions and in the surf zones, where is dissipated most of the wave energy. Developing of wave coastal models and interacting of global and regional scale models with high resolution wave models it is still one of the greatest priorities of these programs. Such high resolution models are likely to be run to surface areas not more than 50km by 50km and the predictions may be significantly improved by infusion of strategically placed 'in situ' collected or remotely sensed data. In shallow water, near the coast, the spectral phased averaged models (as SWAN and HISWA appear also to offer additional capabilities to the Navy especially for the interpretation of the remote sensing data.

However, the general research in this area was focussed up to now mainly in incorporating into the models the effects of the large-scale global currents and in improving the nonlinear source terms, for developing more accurate algorithms. For this reason there is still a strong need of new and more efficient computational environments to perform an adequate processing of the data, either before or after the model simulation. In this perspective coupling the wave models with easy to use pre and post processing tools should be considered as subjects of prime interest in the field of the wave data assimilation techniques.

## 2. The methodology proposed

As a reference point, for the methodology proposed here, was used the SWAN spectral model. However the new developed computational environment could be useful and easily adapted to the most of the existent wave models. SWAN is a high resolution numerical wave model designed to obtain realistic estimates of wave parameters in coastal areas, lakes and estuaries from given wind, bottom, and current conditions. The model is based on the action balance equation (or energy balance in the absence of currents) with sources and sinks. The SWAN model has been developed at the Delft University of Technology, Department of Civil Engineering, Delft, the Netherlands, [Ris *et al* (1998)]. It was released in the public domain and can be downloaded from the Internet. In SWAN the following wave propagation processes are implemented: propagation through

geographic space, refraction due to bottom and current variations, shoaling due to bottom and current variations, blocking and reflections by opposing currents, transmission through or blockage by obstacles. It also accounts for the dissipation effects due to whitecapping, bottom friction and wave breaking. The depth and currents (if present) are input to SWAN. The first implementation of the SWAN model in Portugal was made by the 'Instituto Hidrografico' of the Portuguese Navy in the context of the project PAMMELA. Initially were performed simulations in the area Pinheiro da Cruz, south of Lisbon and nearby Setubal, the implementation of the model being extended now also to some other areas from the Portuguese nearshore.

**BARCO** is the acronym of BATHymetry Reshape and COnfigure and it is an original computation program developed using the MATLAB environment. Its functions are to assess bathymetries and isolines, to plot maps and isomaps and to reshape grids. All these operations can be made before, while or after the wave model is run. As input this model uses exactly the same type of files with the bathymetric data as the SWAN wave model.

**TOTAL WAVE** is a post-processing interface that makes available wave conditions in the nearshore and surf zone, in a user-friendly way. The wave data propagation and transform from the source to the end user can be seen in figure 1, where is suggested also the main idea which is behind the proposed treatment of the data. That is some of the computational effort is taken from the wave model by the pre-processing tool and is created in this way a direct link between the stages of pre and post-processing.

In order to point the advantages introduced by this new interactive computational environment it is may be better to enlarge the explanation of the procedure proposed here (figure 1). First a general and easy to use tool for assessing the bathymetric configuration developed in the same environment (Matlab) as the post-processing tool, should be very useful before running the model in the process of setting the most appropriate area where the model is going to be run. Moreover in the case of the nested runs its utility is even greater because BARCO has the possibility of reshaping grids, defining a sub-domain in the input area and working simultaneously in different frames with both the initial and the final area. Another reason is that the computational time of the most of the wave models strongly depends of the number of the output requests and consequently all the computations that are made outside the model have as a result a significant decreasing of the computational time of the model itself. May be it is also worth mentioning here that the programs 'BARCO' and TOTAL WAVE work in a real time and their

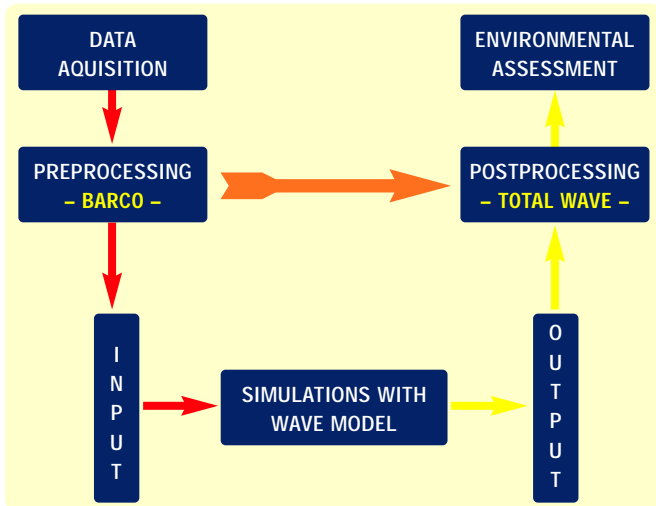


Fig. 1 – Wave data transform from the source to the end user

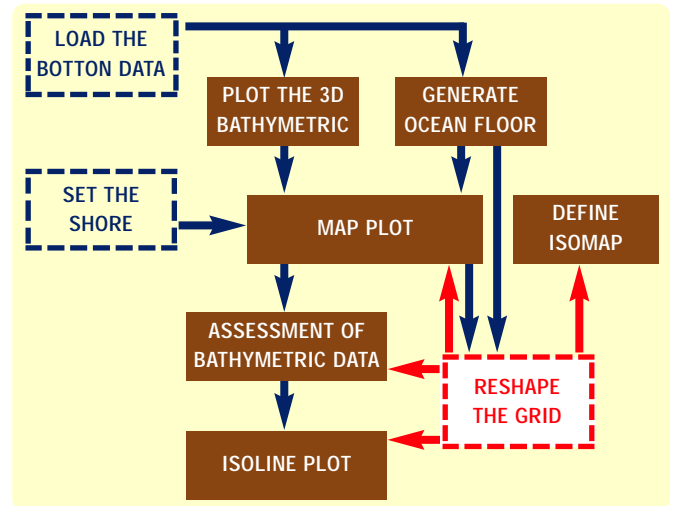


Fig. 2 – The block structure of the program BARCO

manipulation is very easy. The direct interchange of information that can be made now between the stages of pre and post processing has as a result that would be sufficient only one run of the model to evaluate all the wave conditions in the analyzed area. For example could be evaluated the distribution of the wave variables along an arbitrary isoline or along any other path inside the field without imposing this 'a priori' as an output request of the model.

### 3. Evaluation of the nearshore bathymetry

For assessing the configuration of the ocean floor was developed an original interface with graphical and numerical outputs. The generic name given to this interactive product is BARCO (acronym from BATimetry Reshape and CONfigure) and it is a system of script M-files interacting into MATLAB environment. The block structure of the program BARCO is given in figure 2. In order to load the bottom data was imposed the same format for the files as in SWAN, giving the water depths along the lines of the bottom grid. The global variables which control a correct loading of the bathymetry in MATLAB workspace are:  $XLENC1$ - the length of the grid in x direction,  $YLENC1$ - the length of the grid in y direction,  $MXC1$ - the number of meshes in x direction and  $MYC1$ - the number of meshes in y direction. Usually all the variables are introduced into the system through edit boxes and all the actions are controlled by means of the UI-commands (mainly push buttons and UI-menus). However in this initial case it was created alternatively the possibility to incorporate these global variables into the file name. All the data files were imported by the system through the command `UIGETFILE`. For

example in the file named `b01025059100100`, any information is given by a group of three characters. Thus: `b01` is the file code, '025' means that the variable  $XLENC1=(025)*10^6m$ , '059' means that the variable  $YLENC1=(059)*10^6m$ , '100' means that the variable  $DXC1=XLENC1/MXC1=(100)*10m$  and finally the last '100' means that the variable  $DYC1=YLENC1/MYC1=(100)*10m$ . After the data are loaded the interface provide a window where can be seen the spatial grid (figure 3) and alternatively the configuration of the ocean floor (figure 4). From this point the user can choose one of the two different directions: to generate the map of the area or to reshape the area, as it can be seen in the command panel from figure 3.

Generating a map is one important propriety of this computational environment, for this reason it was designed a colormap with many nuances of blue corresponding to different water depths and one nuance of brown for the land. In order to suit any batimetric configuration it was introduced 'the land coefficient' (a non-dimensional coefficient with positive values, usually less than 100) which is setting the brown of the colormap to the zero scale of the depth. In figure 5 could be seen exactly how is done this interactive setting of the shore contour until is reached the zero on the depth scale. The computational algorithm, developed for the isolines, depends on the location of the shore and that is why it was created the option to set the side of the shore (in the North, South, West or East directions), as it is shown in figure 6. Should be also mentioned that the figures from 3 to 6 refers all at the same area in the vicinity of 'Cabo Especial' and that is why the land, which can be seen in the figures, does not coincides with the real side of the shore but with one part of the cape.

In figures 7 and respectively 8 is presented the map of the area together with another propriety developed by

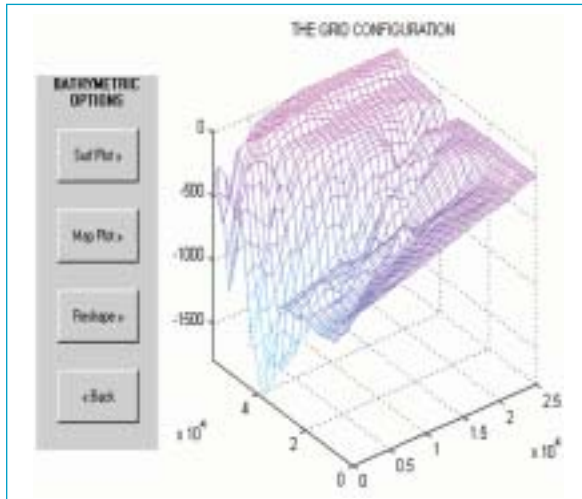


Fig. 3 – The 3D grid plot

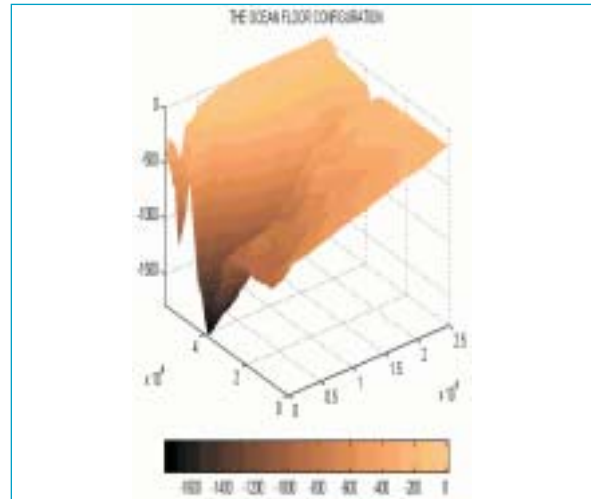


Fig. 4 – The bottom configuration

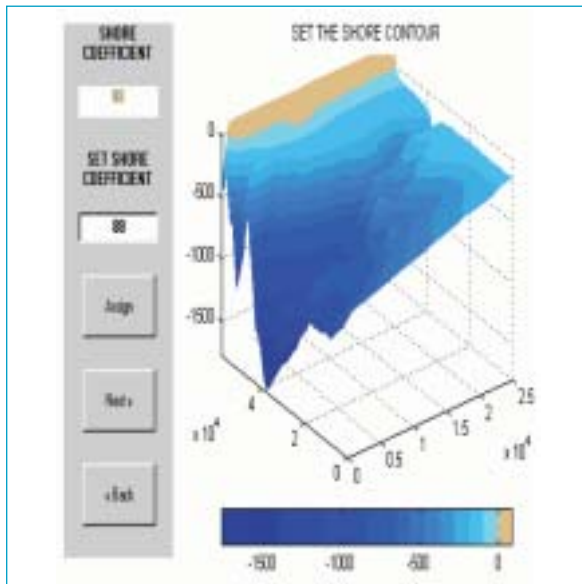


Fig. 5 – Setting the shore position

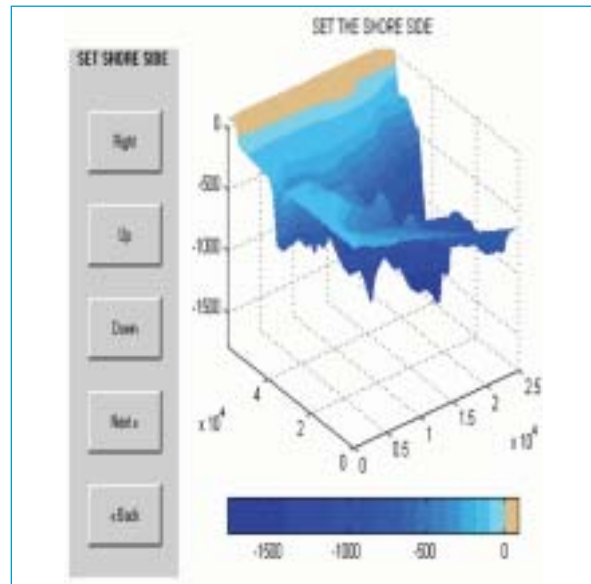


Fig. 6 – Setting the shore side

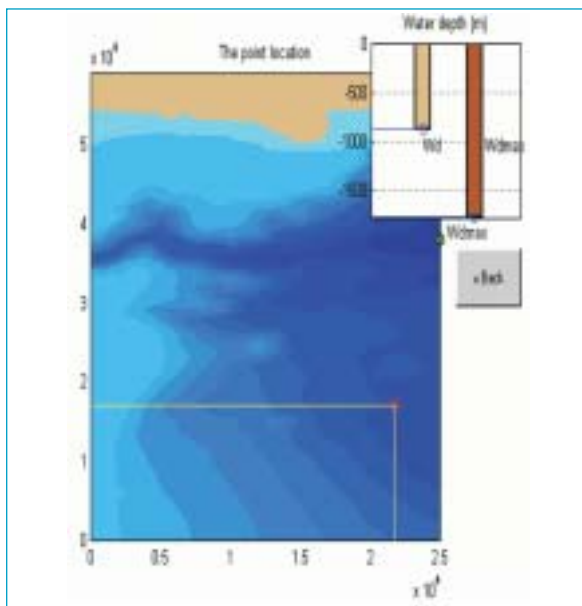


Fig. 7 – Assessing bathymetric data in one point

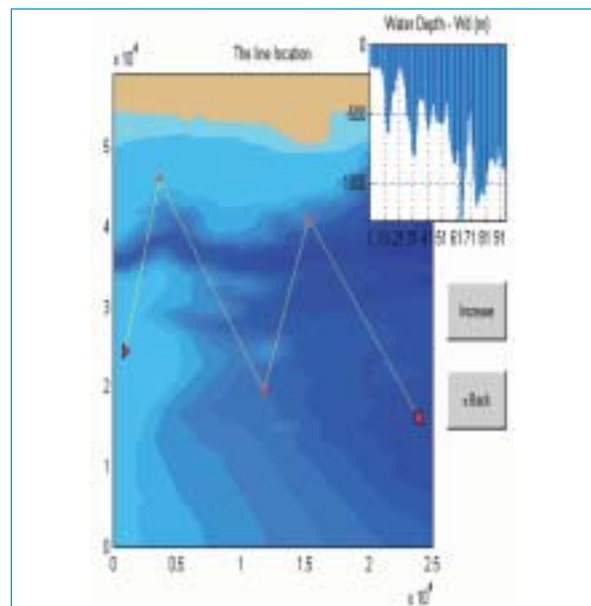


Fig. 8 – Assessing bathymetric data along a random contour

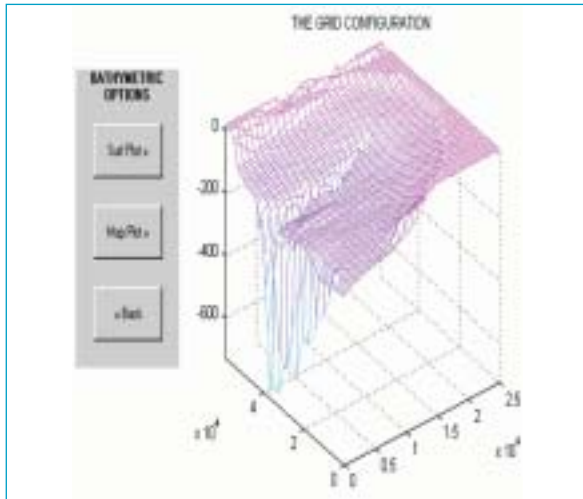


Fig. 9 – The spatial grid before reshaping

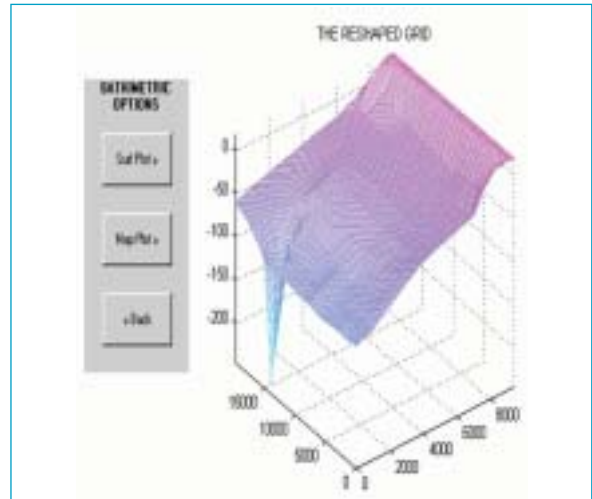


Fig. 10 – The grid of the reshaped area

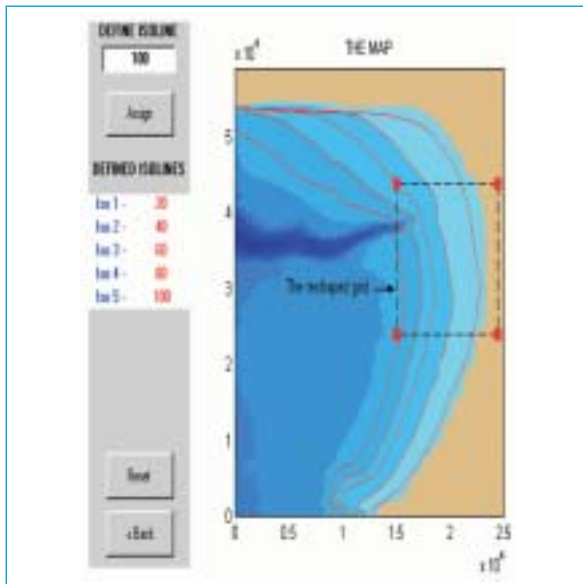


Fig. 11 – The map of the initial area, the isolines and the location for reshaping

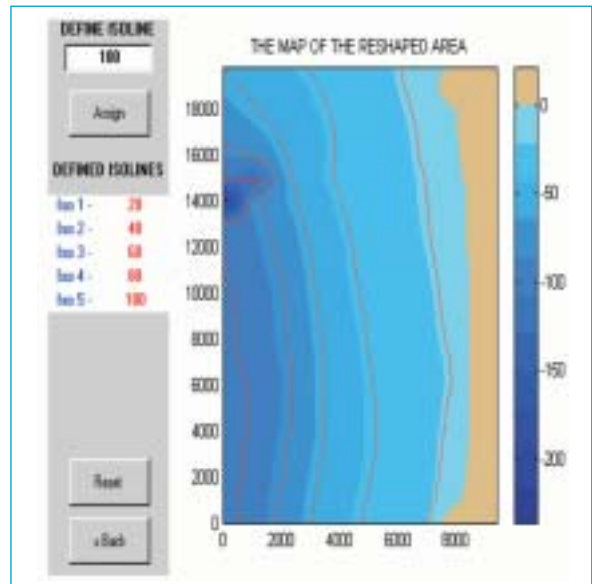


Fig. 12 – The spatial grid before reshaping

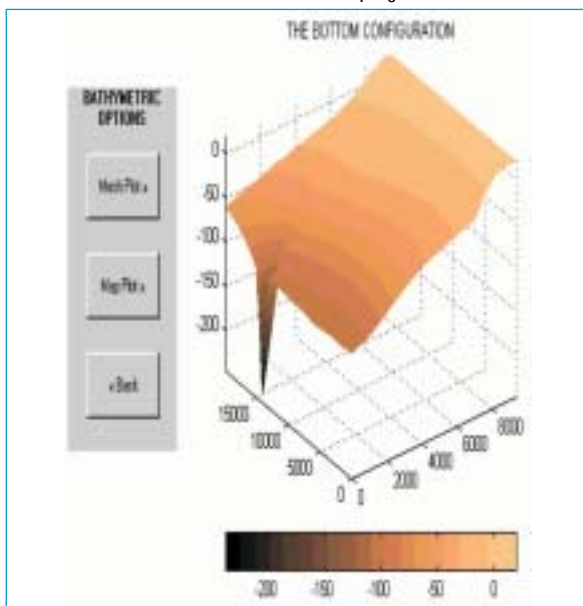


Fig. 13 – The bottom configuration of the reshaped area

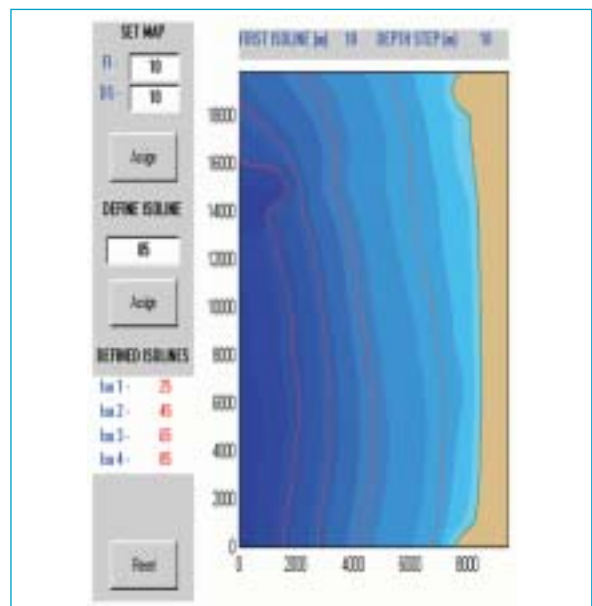


Fig. 14 – The isomap

this computational environment, assessing data in a point or along a random contour. From this reason it was introduced as an output the number of points. If this number is 1, for any point selected in the area is provided the depth and as a comparison measure is given also the location and the value of the maximum depth in the field (figure 7). If this number is greater can be generated a path in the field from these points and can be visualized the bathymetric distribution along it. In figure 8 is illustrated such a path created by 5 points and the corresponding bathymetry. It is also available an enlarged view of the bathymetric distribution where can be seen in detail the variations along the lines which compose the created path. For generating the path divisions was used the solution of varying the steps length and number on each line of the path. The reference step will be considered constant for a given bathymetric configuration and its value will be the minimum of the grid steps:

$$\bar{d}st_j = \min(DXC1, DYC1). \quad (1)$$

The reason for this election was that even with a smaller step the resolution would be the same because all the interpolations are made anyway between the points of the grid. Each line is defined by its endpoints and the length of the  $j$ -line will be given by:

$$Llj = \sqrt{(x_{2j} - x_{1j})^2 + (y_{2j} - y_{1j})^2}, \quad (2)$$

where  $(x_{1j}, y_{1j})$  and respectively  $(x_{2j}, y_{2j})$  are the line end points. The number of the points on the line will be:

$$Npj = \nu(Llj / \bar{d}st_j), \quad (3)$$

where  $\nu$  is the MATLAB ceil function which rounds the argument to the nearest greater integer. The new step for the  $j$ -line will be:

$$\bar{d}st_j = Llj / Npj. \quad (4)$$

With this step the computational process will advance in space from the first to the last point of the line. If the distance between the line endpoints is less than  $\bar{d}st_j$  than on that line this distance will be the step  $\bar{d}st_j$ . The procedure is reinitialized for every line of the given path.

Reshaping the configuration of the field is another procedure available in this new computational environment. The global variables that control the process of reshaping are:  $XCO2$ - the x coordinate of the new origin,  $YCO2$ - the y coordinate of the new origin,  $XLENC2$ - the length of the new grid in x direction,  $YLENC2$ - the length of the new grid in y direction,  $MXC2$ - the number of meshes in x direction and  $MYC2$ - the number of meshes in y direction. To illustrate this process it was

elected another area in the vicinity of the Pinheiro da Cruz beach. Figure 9 shows the initial grid before reshaping while in figure 10 is presented the reshaped grid. In figure 11 can be seen the map of the area and the location of the reshaped area.

Finally defining the mathematical isolines of the bottom it is also a process that can be developed using this interface. In this respect was created a special operator denoted by:

$$C = C(wd, k_{sh}, XoX, YoY, ZoZ) \quad (5)$$

in which  $wd$  is the imposed water depth for which is generated the isoline,  $k_{sh}$  is the advanced shore coefficient which gives the sense of the iteration, if  $k_{sh}$  is greater than  $wd$  this will be the positive sense of x axis and if  $k_{sh}$  is less than  $wd$  is reversed. For considering the iteration along the y axis it was used a similar operator denoted by  $C^*$ .  $XoX$ ,  $YoY$  and  $ZoZ$  are the matrices giving the x coordinate, y coordinate and respectively the depth in the grid points. From the way it was defined is obvious that the above operators can be applied both for the initial and the reshaped grids. Supposing that the lines of the grid are parallel with the y axis, which is also almost parallel to the shore, and the columns are parallel with the x axis, the algorithm developed find for any column the grid point with the closer value (of  $wd$ ). Then interpolates between the two successive grid points on the column. In this way the isoline is built with a single point in any column and will have the same number of points as a regular line of the grid, which is a great advantage for the MATLAB environment where the dimension of vectors and matrices should correspond.

If no value is found, means that the depth imposed for the isoline is out of range and in this case the value is zero if there is a coast side in the area or either zero or maximum if there isn't. If the coast is parallel with the x axis then the iteration is made along the y axis and it is used the operator  $C^*$ . In the figures 11 and respectively 12 is presented the way in which can be generated the isolines in the initial and respectively the reshaped area, while in figure 13 could be seen the natural isolines of the bottom. A further option available is to design automatically an isomap, that is to set the colors and the distance, in terms of depths, between them as it showed in figure 14.

Another facility is to work in parallel, simultaneous on two different windows, with the initial and with the reshaped grid for both the processes of data assessment and generating isolines. Although were used the same programs for the initial and the reshaped grid this was possible because the system works with two categories of global variables (that have the index 1 for the initial surface and the index 2 for the reshaped one). These are changed alternatively from one case to another.



## 4. A Nowcast tool for the coastal environment

After running the model, its outputs are transferred into another computational environment where is performed the phase of post-processing. For this purpose was developed a MATLAB interface denoted by 'TOTAL WAVE' which makes available in real time, and in an user friendly way, the main wave parameters both in the nearshore and surf areas. A more detailed description of this nowcast tool and its evolution in the last year could be seen in [Soares *et al* (2000)] and [Rusu *et al* (2001)]. From this reason it will be emphasized here only the basic proprieties and some new features of 'TOTAL WAVE'.

Any numerical model delivers the outputs requested by the user from the ones that are available. In SWAN these outputs could be divided into two categories: grid variables, (which could be described by a scalar, or a three-dimensional vector) and spectral variables (which are described each one by a matrix). Besides the grid point coordinates and the corresponding depth, the main grid parameters computed were: the significant wave height ( $H_s$ ), the wave period ( $TM01$ ), the wave direction ( $\alpha$ ), the wavelength ( $WL$ ), the wave steepness ( $Ste$ ), the energy dissipation per unit time ( $Diss$ ), the normalized frequency width of the spectrum ( $Fspr$ ) and the directional width of the spectrum ( $Dspr$ ). Once being established the frequencies of the spectrum, the 1D spectrum in a point is a vector that gives the variance densities (in  $m^2/Hz$ ) for the corresponding frequencies. The 1D spectrum was computed along lines parallel with the y-axis of the computational grid (i.e. quasi parallel with the shoreline). Because the great amount of data involved, the 1D spectrum couldn't be computed directly in the points of the computational grid and it was reconstructed the grid in this way. A matrix having the number of rows equal with the number of frequencies and the number of columns equal with the number of directions considered gives the 2D spectrum in a point. The elements of this matrix will be the corresponding values of the variance density (in  $m^2/Hz.rad$ ). The 2D spectrum was computed only in points and from these points it was built a line normal to the shore in the middle of the domain.

'TOTAL WAVE' has in the top of its hierarchy the site. The setting of the area is controlled by the same global variables that are defined in the pre-processing stage. These are:  $XCO^*$ ,  $YCO^*$ ,  $XLENC^*$ ,  $YLENC^*$ ,  $MXC^*$  and  $MYC^*$ . The superscript  $*$  is 1 if was used the first grid from 'BARCO' and 2 if was used the reshaped grid (usually in the case of nested runs). All the bathymetric data are loaded directly from the pre-processing tool where was defined and configured the computational grid of the model. Other global variables charac-

terizing the computational grid are:  $FLENC$  (the length of the grid in frequency space),  $DLENC$  (the length of the grid in directional space),  $MFC$  – the number of meshes in frequency space and  $MDC$  – the number of meshes in directional space. Once the site is set the next option is to choose the case which is going to be analyzed. MATLAB associates to each variable in its workspace a matrix and if the grid variables are already delivered by SWAN in a matrix form, the spectral files describing the 1D or 2D spectrum are reconverted into matrices by special subroutines.

After loading the case data it is displayed the main desk of the selected site. The actions are controlled through UI-menu commands. The functions of these commands concern the starting of the simulations and also some other options as: opening html-files, cumulative or parallel analyze, changing the case or the site. The simulations are generated by quasi-independent modules which allow also a sequential analyze. They will be briefly described as follows.

### 4.1 Global data evaluation

In this simulation could be made a field evaluation of the wave conditions concerning the entire site, which gives an overview of the wave variables distribution in the area and allows an evaluation of the wave data accuracy. As a result it is of important help in the process of correction of the initial and (or) of the boundary conditions, as well as in calibrating the optimal combination of the physical processes activated of the wave model. On the other hand this phase is a first step in identifying and analyzing some relevant wave phenomena as shoaling, wave breaking, refraction, infragravity motions, etc. In figure 15 can be seen the command menu and the wave direction in the field where the phenomenon of bottom induced refraction is very well surprised. There are also available on the command panel the field distribution of the wave height, the period, the bathymetry, the wavelength and the steepness. The points where are located the maximum values of the variables are marked and the corresponding values are displayed on the MATLAB command window.

### 4.2 Local data assessment

Using the map of the area in this phase can be elected any point or line in the sea field to evaluate in detail the values of the wave variables. The input in this case are the point coordinates, or respectively the line endpoints for the case of the line, and their location can be selected directly from the map as a graphical input, or alternatively, for imposed analytical values of the respective points. In figure 16 are presented two arbitrary locations (for a point and respectively a line) and the values of the main wave variables (and respectively

their variation), as they are delivered instantaneously by the corresponding commands. For the case of the point, it is made a comparison with the maximum value of the respective variable in the field. It is also available the wave data evolution along the isolines. The direct connection with the pre-processing stage permits a further extension from a two-point line to a path generated by many lines as the one in figure 8 and also to define the data distribution along any isoline without imposing these as an 'a priori' output request to the model.

### 4.3 Spectral analysis

The harmonic or spectral analysis is a technique that unravels the waves generated by different storms and describes the complete distribution of wave energies and periods. The 1D spectrum presents variance density per unit frequency interval for each frequency.

The variance units are  $m^2$  per frequency interval  $DS$ , which can be converted into true energy through multiplication by  $\rho g/8$ , where  $\rho$  is the water density, and  $g$  is the acceleration of gravity. The total variance for each point can be obtained by summing the variance densities. The most complete description of waves is provided by a directional wave spectrum, which includes the direction of wave approach as well as the wave variance at a specific frequency. Such a 2D spectrum is given in the three-axis plot in figure 17. As it can be seen also in the command panel of figure 17, 'TOTAL WAVE' provides both the 1D and 2D spectra and can be followed the evolution of the spectral shape towards the shore. Moreover could be performed comparative analyzes between the spectral shapes in various places.

### 4.4 The surf zone conditions

The processes and the phenomena associated with the depth-induced wave breaking are particularly important in the coastal engineering applications. This because a great amount of the wave energy is finally dissipated in the nearshore regions determining the geometry and composition of the beaches and influencing the coastal structures and works. A rapid and adequate evaluation of the wave conditions in these areas being therefore of essential importance. For estimating the process of wave breaking SWAN, uses the spectral version of [Eldeberky and Battjes (1996)], expanded to include directions. In terms of energy dissipation the breaking process is associated with a significant increase. Once the breaking line is identified can be evaluated the wave data along its points. In figure 18 are presented some characteristics of the breaking as the variation in relationship with the shore of the distance where is initiated the wave breaking and the distributions of the significant wave height and the depth on the breaking line. The commands available for this module could be seen also in figure 18 and they are: identifying the location of the breaking line, determining the variation of the breaking ratio along it, evaluation of the breaking type, assessing the wave direction just before breaking, computation of the number of fronts in the surf and finally displaying the dissipation variation towards to the shore. The breaker-type prediction used the deep-water form of the Iribarren number ( $j$ ), which combine the beach slope with the wave steepness. In reference to this parameter the breaking-type classification is the following [Komar (1998)]:

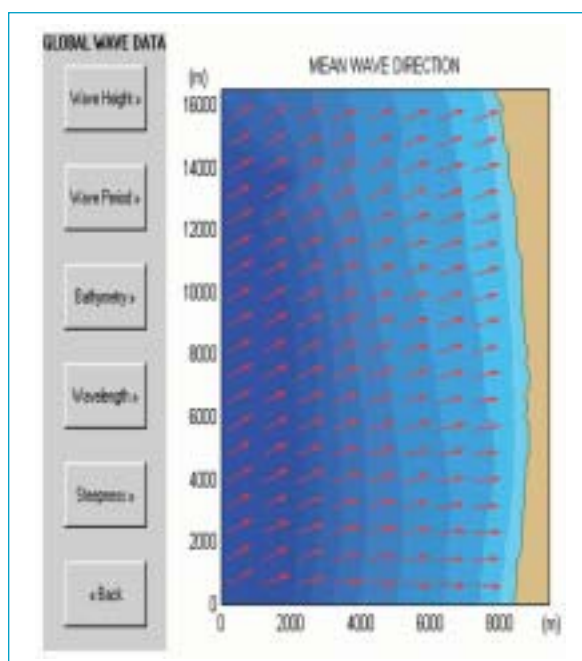


Fig. 15 – Global data evaluation

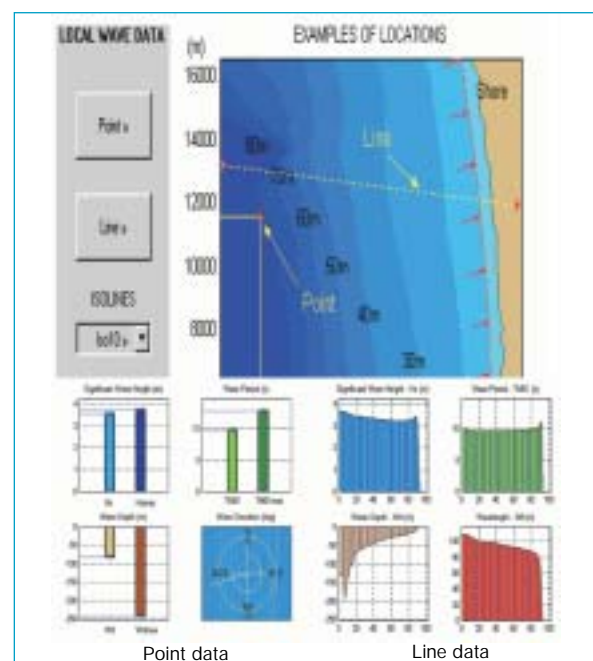


Fig. 16 – Local data assessment

$$\begin{aligned}
 & j_3 \# 0.4 - \text{spilling}; \\
 0.4, & j_3 \# 2.4 - \text{plunging}; \\
 2.4, & j_3 \# 2.6 - \text{plunging / collapsing}; \\
 2.6, & j_3 \# 3.1 - \text{collapsing / surging}; \\
 & , j_3 \cdot 3.1 - \text{surging}.
 \end{aligned} \tag{6}$$

There were used also in this module some results from the linear theory for estimating the breaking ratio and the number of wave fronts in the surf [Soares *et al*2000].

#### 4.5 Options for cumulative and parallel data analysis

Besides the capacity of this new designed nowcasting tool to process and present graphically (and numerically), data concerning a specific moment of the sea state in the considered area, it was created also the possibility for the user to make a time evolution analyze of the wave parameters. Consequently although most of the variables are reinitialized any time when is changed the case, some other variables are loaded as global vectors, which perpetuates and extend their dimension in each case analyzed. In this way "TOTAL WAVE" can be used not only for studying the distribution in space at one instant of the wave variables, but also to visualize their time evolution and to design automatically some forecast products. Another new option is the parallel analysis that can be done with different windows either in terms of spatial or temporal variations.

### 5. Some concluding remarks

High-resolution numerical wave models, being able to generate forecast products of the oceanographic data, are nowadays utilized more and more, to provide in a near real time scale the environmental support for

significant areas. This concerns especially the coastal environment where the influence of the nonlinear effects is much higher than in the offshore areas. However, while the general research was focused in developing the physics of the spectral phase averaged models by improving the nonlinear source terms, there is still a strong need of easy to use interfaces for an adequate pre-processing and post-processing of the data. With this motivation the goal of the present work was to develop a new pre-processing tool for the coastal environment 'BARCO', with graphical and numerical outputs, which would be used in correlation with an advanced version of an already developed post-processing nowcast tool 'TOTAL WAVE'. Because of its high performances in integration between computations and visualization effects was used the MATLAB environment. Moreover both the data import and the actions control were performed using the UI-commands. The data files were introduced into the system by commands of the type 'UIGETFILE' while the global variables by 'EDIT BOXES'. In the same time the simulations were initiated usually by 'UI-MENU' commands and the actions inside a simulation are controlled by 'PUSH BUTTONS', following in this way the MATLAB internal hierarchy.

The two programs were applied successfully together with the SWAN model, but they could be also useful in conjunction with most of the existent wave models. There were made available, in a user-friendly way, graphical and numerical outputs for the main wave parameters in the nearshore. Moreover using the results of the linear theory where evaluated the characteristics of the breaking process. There are some important benefits brought by the tools developed herewith. First in this way can be made a better selection of the area where is going to be run the model. Then is a drastically decreasing of the computational time of the model because of the reduced number of the output requests.

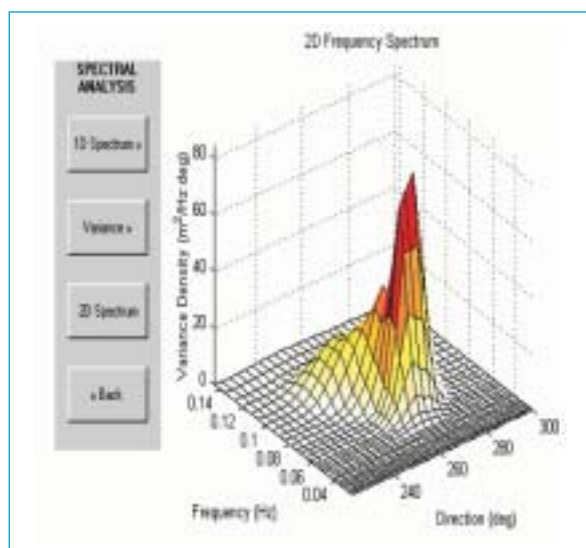


Fig. 17 – Spectral analysis

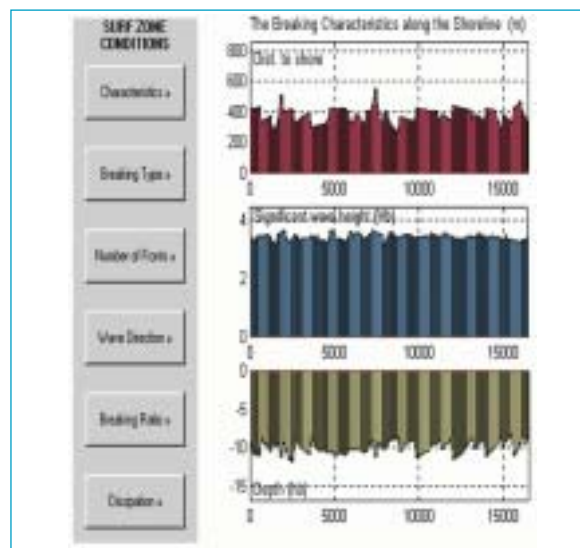


Fig. 18 – Surf-zone conditions

Finally, the last and may be the most important is the fact that it is enough only one run of the model for a complete characterization of the area of interest, while all the additional computations are being made in real time outside the model.

## 6. Index of Symbols

*Diss* – energy dissipation per unit time,  
*DLENC* – global variable, length of the grid in directional space,  
*Dspr* – directional width of the spectrum (directional spreading),  
*DXC1,2* – length of the meshes in x direction,  
*DYC1,2* – length of the meshes in y direction,  
*s, u* – energy density spectrum,  
*FLENC* – global variable, length of the grid in frequency space,  
*Fspr* – frequency width of the spectrum (frequency spreading),  
*g* – acceleration of gravity,  
*k<sub>sh</sub>* – advanced shore coefficient,  
*Lj* – *j*-line length,  
*MDC* – global variable, number of meshes in directional space,  
*MFC* – global variable, number of meshes in frequency spaces,  
*MXC1,2* – number of meshes in x direction,  
*MYC1,2* – number of meshes in y direction ,  
*N(s, u)* – action density spectrum,  
*N<sub>pj</sub>* – number of points on the *j*-line,  
*Ste* – wave steepness,  
*TM01* – wave period,  
*wd* – imposed water depth for the isolines,  
*Wl* – wavelength (respectively deep water wavelength),  
*(x<sub>1j</sub> y<sub>1j</sub>), (x<sub>2j</sub> y<sub>2j</sub>)* – *j*-line end points,  
*XoX, YoY, ZoZ* – grid matrices corresponding to x, y and respectively depth directions,  
*XCO2* – x coordinate of the origin of the reshaped grid,  
*XLENC1,2* – length in x direction  
*YCO2* – y coordinate of the origin of the reshaped grid,  
*YLENC1,2* – length in y direction,  
*Δst<sub>r</sub>* – minimum grid step,  
*Δst<sub>j</sub>* – step for the *j*-line,  
*v* – MATLAB ceil function,  
*C, C\** – isoline operators,  
*r* – density water,  
*s* ( $\bar{s}$ ) – relative frequency (respectively mean frequency),  
*u* – mean wave direction,  
*j<sub>3</sub>* – deep water form of the Iribarren number,  
 \* – indices 1 and 2 refer of the initial and respectively the reshaped grids.

## 7. Acknowledgments

This work is a contribution for two projects developed in Instituto Hidrografico of the Portuguese Navy: PAMMELA2 (Nearshore Wave Forecasting: Spectral Models and Data Assimilation) supported by grant PDCTM/P/MAR/15242/1999 from Fundação para Ciência e a Tecnologia and MOCASSIM (Oceanographic Model-

ing Implementation with Data Assimilation) also supported by a grant from Fundação para Ciência e a Tecnologia.

Eugen Rusu acknowledges a fellowship for scientific investigation from «Fundação para a Ciência e Tecnologia».

## 8. References

- Banner, M.L.; Young, I.R. (1994) – *Modeling spectral dissipation in the evolution of wind waves. Part I: Assessment of existing model performance*, J. Phys. Oceanogr., 24, No. 7, 1550-1571.
- Battjes, J.A.; Janssen, J.P. (1978) – *Energy Loss and Set-up Due to Breaking of Random Waves*. 16<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering, ASCE, (USA), pp. 569-587.
- Bertotti, L.; Cavaleri, L. (1994) – *Accuracy of wind and wave evaluation in coastal regions*, Proc. 24 Th Int. Conf. Coastal Engineering, ASCE, 57-67.
- Dingemans, M.W. (1997) – *Water wave propagation over uneven bottoms. Part 1 – linear wave propagation*, Advanced Series on Ocean Engineering, 13, World Scientific, 471.
- Eldeberky, Y.; Battjes, J.A. (1996) – *Spectral Modeling of Wave Breaking: Application to Boussinesq Equations*. Journal of Geophysical Research, 101, C1, pp. 1253-1264.
- Elgar, S.; Guza, R.T.; Raubenheimer, B.; Herbers T.H.C.; Gallagher, E.L. (1997) – *Spectral evolution of shoaling and breaking waves on a barred beach*, J. Geophys. Res., 102, C7, 15797-15805.
- Kaminski, G.; Krauss, N.C. (1993) – *Evaluation of depth-limited wave breaking criteria*. Waves 193, Amer. Soc. Civil Engrs., 180-193.
- Komar, P.D. (1998) – *Beach Processes and Sedimentation*. New Jersey (USA), Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, Prentice-Hall Inc.
- Luo, W.; Monbaliu, J. (1994) – *Effects of the bottom friction formulation on the energy balance for gravity waves in shallow water*, J. Geophys. Res., 99, C9, 18,501-18,511.
- Mastenbroek, C.; Burgers, G.; Janssen, P.A. (1993) – *The dynamical coupling of a wave model in a storm surge model through the atmospheric boundary layer*. J. Phys. Oceanogr., 23, 1856-1866.
- Pires Silva, A.A.; Makarynsky, O.; Monbaliu, J.; Soares C. V.; Coelho, E. F. (2000) – *Modeling Wave Transformation in a Open Beach on the West Coast of Portugal*. International workshop on coastal waves, Barcelona (Spain), University of Barcelona.
- Ris, R.C.; Booij, N.; Holthuijsen, L.H.; Padilla-Hernandez, R.; Haagsma, I.J.G. (1998) – *SWAN User Manual*. Delft, (The Netherlands), Delft University of Technology.
- Rusu, E.; Soares, C.V. Coelho, E.F.; (2001) – *Aplicação em Ambiente MATLAB para Estimar as Características de Agitação Marítima em Águas Pouco Profundas*. Seminar 'Hydroinformática em Portugal' Lisbon, November 2001.
- Soares, C.V.; Rusu, E.; Coelho, E.F.; Pires Silva, A.A.; Makarynsky, O. (2000) – *A Nowcast Tool to Assess Wave Parameters in Coastal Areas*. The 6<sup>th</sup> International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Monterey (USA), 6-10 November 2000.
- Thornton, E.B.; Guza, R.T. (1983) – *Transformation of Wave Height Distribution*. Journal of Geophysical Research., 88, C10, 5925-5938.
- Whitham, G.B. (1974) – *Linear and Nonlinear Waves*, Wiley, New York.
- Young, I.R.; Banner, M.L. (1992) – *Numerical Experiments on the evolution of fetch limited waves*, Int.Union of Theor. and Appl. Mech. (IUTAM), Sydney, Australia, 267-275.
- The MathWorks, Inc. (2000) – *MATLAB User's Guide, Version 6*. Natick (USA).

# Rede DGPS (*Differential GPS*) Portuguesa

Sardinha Monteiro

PRIMEIRO-TENENTE

**Resumo** Foi lançado, em Maio de 2001, o Concurso Público Internacional para a aquisição e instalação da componente Continental da rede DGPS Portuguesa, constituída por uma Estação de Controlo e duas Estações DGPS, que se prevê comecem a transmitir correcções diferenciais em 2002.

A transmissão de correcções diferenciais permite eliminar a maior parte dos erros do GPS e melhorar significativamente a integridade do serviço: enquanto o GPS não fornece avisos de integridade em tempo-real, a utilização de Estações DGPS – que monitorizam permanentemente a qualidade dos sinais dos satélites visíveis – permite notificar os utilizadores de qualquer avaria ou falha em menos de 15 segundos. No entanto, o fim da *Selective Availability* em Maio de 2000, ao permitir uma melhoria na exactidão do GPS natural, obrigou a uma re-avaliação dos benefícios que justificavam a existência de serviços diferenciais. Esses benefícios do DGPS serão discutidos e apresentados neste artigo, com o fim de mostrar que a opção pelo DGPS é, ainda, a mais adequada e útil aos navegantes, em águas Portuguesas.

Vai-se descrever, também, a arquitectura prevista para a rede DGPS Portuguesa, que, além das Estações no Continente, inclui uma Estação DGPS em cada um dos Arquipélagos dos Açores e da Madeira. Espera-se lançar o Concurso Público Internacional para a aquisição das Estações DGPS dos Açores e da Madeira no início de 2003.

**Abstract** *The tender for the acquisition and installation of the Continental component of the Portuguese DGPS network has been launched in May 2001. This component will be composed of a Control Station and two DGPS Stations, which are expected to start broadcasting differential corrections in 2002.*

*The transmission of differential corrections allows elimination of most of the errors of GPS and improves significantly the integrity of the service: while GPS does not provide instantaneous integrity warnings, the use of DGPS Stations – which monitor permanently the signals of the visible satellites – enables the timely warning of any malfunction or failure in less than 15 seconds. However, the discontinuation of Selective Availability in May 2000, which led to an improvement in stand-alone GPS accuracy, urged a re-evaluation of the premises that justified differential services. DGPS benefits for mariners will be discussed and presented in this paper, with the aim of showing that the option to embrace DGPS is still the most adequate and useful for mariners, in Portuguese waters.*

*In this paper, the architecture of the Portuguese DGPS network will also be described. This network includes, besides the mainland stations, one DGPS Station in each of Azores and Madeira archipelagos. The tender for the acquisition and installation of Azores and Madeira DGPS Stations is expected to be launched in the beginning of 2003.*

## 1. Importância de um posicionamento muito exacto

A preocupação com a segurança marítima e a segurança da navegação têm aumentado muito nos últimos anos. A opinião pública, Portuguesa e Mundial, está cada vez mais sensível e atenta aos acidentes marítimos e aos seus efeitos sobre o meio ambiente. A costa Portuguesa é uma via de acesso prioritária, tanto para o Norte da Europa como para o Mediterrâneo, conforme se pode depreender da figura 1, que ilustra o tráfego marítimo de petroleiros em 1994.

Os únicos dados consistentes sobre o tráfego marítimo nas nossas águas foram recolhidos pelo Instituto Hidrográfico, através de uma viatura equipada com um radar de controlo de tráfego marítimo, no já longínquo ano de 1987 [Ref. 1]. Foram feitas contagens nos Cabos de S. Vicente, Roca e Carvoeiro, tendo-se obtido os seguintes resultados:

- Cabo de S. Vicente: 76 navios/dia (27.700 navios/ano)
- Cabo da Roca: 62 navios/dia (22.600 navios/ano)
- Cabo Carvoeiro: 59 navios/dia (21.500 navios/ano)

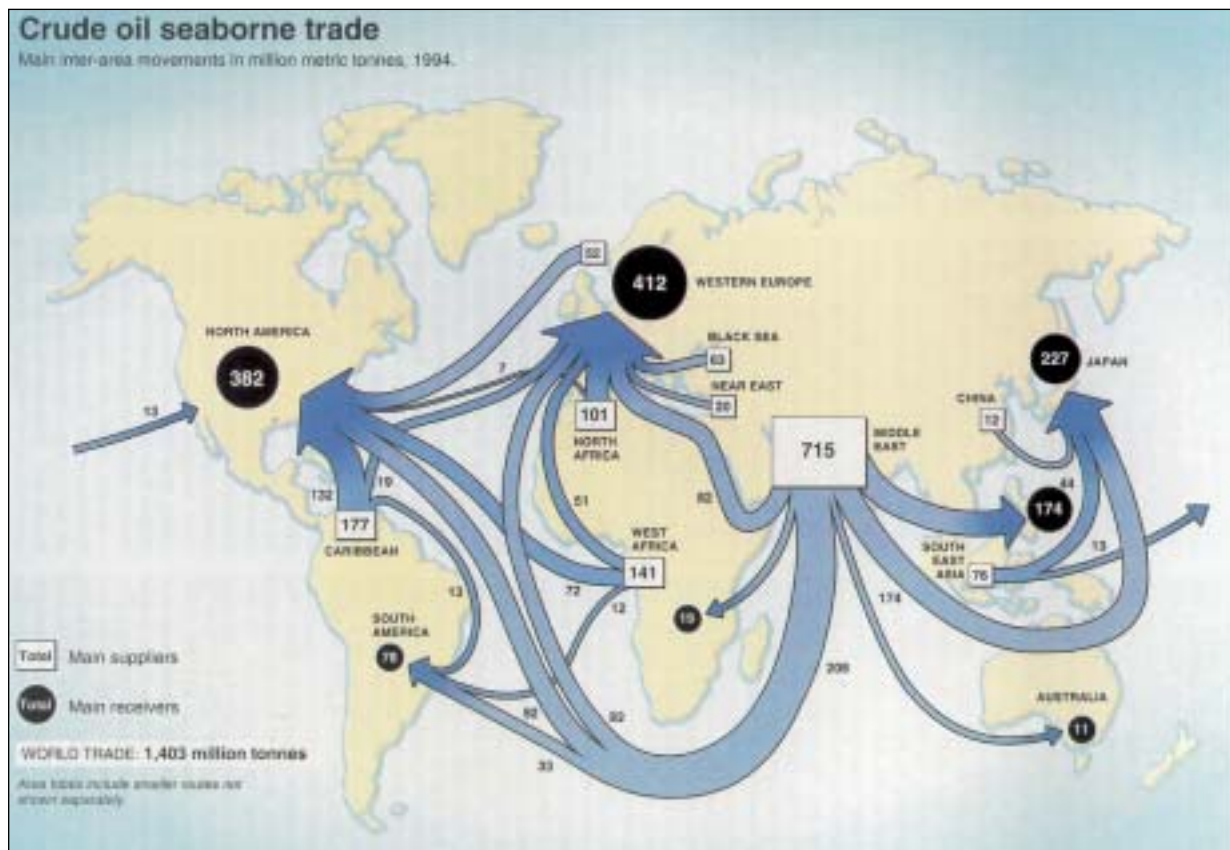


Fig. 1 – Tráfego marítimo de crude (em milhões de toneladas). O maior fluxo dirige-se ao Norte da Europa, passando na nossa costa

Embora estes dados já sejam antigos, eles têm vindo a ser confirmados, nomeadamente os referentes ao Cabo de S. Vicente, pelos totais de navios controlados no centro do *Vessel Traffic Service* (VTS) de Tarifa. Esse centro VTS Espanhol, localizado junto ao estreito de Gibraltar, controlou, no ano de 1995, um total de 26.262 navios, um valor muito semelhante ao resultante da contagem efectuada ao largo do cabo de S. Vicente, em 1987. Sabendo que a grande maioria dos navios que passam junto a S. Vicente provém de, ou vai para, o estreito de Gibraltar, isso permite concluir que o tráfego marítimo ao largo de S. Vicente não se alterou muito desde 1987, aproximando-se dos 30.000 navios/ano. O tráfego marítimo na costa ocidental é um pouco menor, como o demonstram os resultados obtidos junto ao Cabo da Roca e ao Cabo Carvoeiro.

Pode-se, assim, afirmar com alguma sustentação que a nossa costa ocidental será cruzada por mais de 20.000 navios/ano, atingindo-se um máximo de quase 30.000 navios/ano ao largo de S. Vicente. São números elevados e que justificam uma grande atenção à melhoria da segurança da navegação nas nossas águas, por forma a tentar evitar acidentes marítimos, sempre muito penalizadores para o meio ambiente.

Recorde-se o acidente do *Exxon Valdez*, em 1989, que provocou danos irreversíveis e prejuízos na ordem dos 480 milhões de contos. Este acidente, que terá sido o mais grave da história, provocou um derrame de apro-

ximadamente 42 milhões de litros de crude, sendo responsável pela morte de cerca de 250 mil aves, 5.300 mamíferos e um número desconhecido de peixes. Este, tal como muitos outros acidentes, resultou de um erro de posicionamento, já que o navio após sair da sua rota para evitar icebergues acabou por colidir nos rochedos de Bligh (estreito do Alaska).

Em águas Portuguesas nunca aconteceu um acidente destas dimensões, mas sucedem-se, ano após ano, acidentes e incidentes de gravidade variável. A Direcção-Geral de Marinha possui registos, desde 1971, dos acidentes e incidentes geradores de poluição ocorridos nos espaços marítimos sob jurisdição nacional. Os valores totais são de certa forma preocupantes, tendo-se atingido um máximo de 132 acidentes/incidentes de poluição em 1990. Muitos deles deveram-se a erros de navegação e falhas no posicionamento.

Ultimamente, têm vindo a ser introduzidos na navegação marítima sistemas e equipamentos que fazem uso das tecnologias mais recentes para melhorar a segurança dos navios no mar. Referimo-nos aos *Electronic Chart Display and Information Systems* (ECDIS), aos VTS e aos *Automatic Identification Systems* (AIS).

No entanto, os potenciais benefícios destes recentes desenvolvimentos tecnológicos só serão plenamente atingidos se os navios souberem com grande exactidão onde se encontram. Assim, o primeiro passo para se conseguir melhorar a segurança da navegação consiste

em melhorar o posicionamento dos navios no mar. O sistema *Differential GPS* (DGPS), ao garantir uma elevada exactidão e integridade, para apoio da navegação em águas restritas e águas costeiras, tem sido o sistema de posicionamento adoptado para integração com esses equipamentos / sistemas.

Antes de abordarmos o DGPS propriamente dito, vejamos qual o estado de desenvolvimento dos ECDIS, dos VTS e dos AIS, tentando explicar, também, até que ponto é que dependem de um posicionamento extremamente exacto.

## ECDIS

Em Novembro de 2000, o Comité de Segurança Marítima da Organização Marítima Internacional (OMI) aprovou, finalmente, as emendas ao capítulo V da Convenção *Safety Of Life At Sea* (SOLAS) que fazem equivaler as cartas electrónicas oficiais às tradicionais cartas de papel. Assim, a definição de *carta náutica* ou *publicação náutica* passa a designar os «mapas ou livros, ou bases de dados especialmente compiladas (...), que forem publicados oficialmente por, ou sob autorização de, um Governo, organização hidrográfica autorizada ou outra instituição governamental, e que sejam produzidos de acordo com os requisitos da navegação marítima». Recorde-se que a regra 20 do capítulo V da Convenção SOLAS obriga os navios a possuírem «cartas actualizadas (...) e outras publicações náuticas necessárias à viagem em curso». Com esta revisão, que entra em vigor (por aprovação tácita) em 1 de Julho de 2002, as cartas que os navios são obrigados a possuir passam a poder ser cartas electrónicas oficiais, desde que lidas num ECDIS certificado.

As emendas à Convenção SOLAS aprovadas incluem, também, um parágrafo sobre ECDIS, em que se especifica que para haver equivalência às cartas de papel, o equipamento «deverá estar conforme com os *performance standards* (...) adoptados pela Organização em 23 de Novembro de 1995 [Ref. 2]», os quais foram amplificados por uma Resolução da Comissão Electrotécnica Internacional (CEI) de 1998 [Ref. 3].

Desta forma, o ECDIS e as cartas electrónicas oficiais passam a ser legalmente equivalentes às cartas de papel, desde que:

- o equipamento de leitura e visualização das cartas electrónicas (ECDIS) esteja certificado de acordo com a Resolução 61174 da CEI [Ref. 3] e
- as cartas electrónicas apresentadas estejam no formato aprovado pela Organização Hidrográfica Internacional [Ref. 4] e
- estas cartas tenham sido publicadas por, ou sob autorização de, uma organização hidrográfica governamental.

Só no caso de se verificarem estas três condições, e de existir um *back-up* apropriado<sup>1</sup>, é que as cartas electrónicas são consideradas equivalentes às cartas náuticas oficiais de papel requeridas pela Convenção SOLAS, na sua regra 20 do capítulo V.

Estas emendas à Convenção SOLAS constituem mais um grande estímulo à implantação dos ECDIS, que estão a emergir como uma ferramenta essencial para a moderna navegação marítima. Mais do que uma mera imagem digital das cartas de papel, as cartas electrónicas combinam informação geográfica com informação textual de forma bastante atractiva para os navegantes, facilitando imenso as suas tarefas. Os ECDIS exponenciaram também as possibilidades de integração de todos os equipamentos de navegação, permitindo, nomeadamente, a implantação automática da posição do navio derivada de um sistema de radionavegação. Obviamente, que todos os benefícios do ECDIS caem por terra se essa posição estiver incorrecta.

## VTS

Com vista a melhorar a segurança da navegação nas águas Portuguesas e contribuir para a redução do número de acidentes marítimos, está a ser implementado em Portugal um sistema VTS, constituído por um sub-sistema portuário e um sub-sistema costeiro.

No âmbito do sub-sistema portuário, estão a ser instalados VTS em cinco portos nacionais: Leixões, Aveiro, Lisboa, Setúbal e Sines, dos quais alguns já estão a funcionar. Está ainda prevista a instalação de VTS em mais quatro portos: Viana do Castelo, Figueira da Foz, Portimão e Faro.

Em relação ao sub-sistema costeiro, o Instituto Marítimo Portuário lançou, em Julho de 2001, o concurso para aquisição dos necessários equipamentos, em que se incluem 9 radares costeiros destinados a efectuar o controlo de todo o tráfego marítimo que passe numa faixa de cerca de 50 milhas, estendida ao longo da costa de Portugal Continental.

A finalidade dos VTS, tal como consta da Resolução A.857(20) da OMI [Ref. 6], é melhorar a segurança e a eficiência da navegação, salvaguardar as vidas humanas no mar e proteger o ambiente marítimo e/ou as áreas

<sup>1</sup> Em 1996, o Comité de Segurança Marítima da OMI aprovou uma resolução contendo os requisitos necessários ao *back-up* do ECDIS, para que este possa substituir as cartas de papel [Ref. 5]. Esta resolução deixa em aberto a possibilidade de o *back-up* ao ECDIS ser um sistema electrónico (com uma fonte de alimentação completamente independente do ECDIS primário) ou ser as próprias cartas de papel. Assim, aceitam-se os seguintes *back-ups*:

- um segundo equipamento ECDIS certificado;
- um sistema de leitura de cartas electrónicas de navegação não equivalente ao ECDIS mas que cumpra determinados requisitos mínimos e que use dados (ou cartas) oficiais;
- as cartas náuticas oficiais de papel.

costeiras dos possíveis efeitos adversos decorrentes do tráfego marítimo.

Essa Resolução, que é a base legal primordial de todos os VTS, não especifica quais os equipamentos e/ou sistemas que devem compor um VTS<sup>2</sup>, embora todos tenham por base um conjunto de radares e sistemas de comunicações, geralmente em VHF.

No entanto, o eficaz funcionamento dos VTS requer, também, a existência de um sistema de posicionamento muito exacto, que impeça as autoridades VTS e os navios utilizadores, de usarem posições erradas que podem comprometer a segurança da navegação e levar a acidentes marítimos. Os serviços cometidos aos VTS, nomeadamente o serviço de informação (que inclui relatos da posição e identificação de outros navios), o serviço de assistência na navegação e o serviço de organização do tráfego, só poderão ser optimizados se se souber com grande exactidão a posição de todos os navios na área VTS.

## AIS

Os AIS são *transponders* que se destinam a radiodifundir dados importantes sobre a identificação e o comportamento dos navios em que estão instalados. Esses dados são transmitidos continuamente e automaticamente, podendo ser recebidos por todos os equipamentos AIS na zona, que podem estar instalados não só noutros navios como também em centros de controlo de tráfego em terra.

A gestão do tráfego marítimo, a ser desempenhada com apoio de VTS, beneficiará da obrigatoriedade de instalação de *transponders* AIS. Esse requisito de obrigatoriedade foi incluído na já referida revisão do capítulo V do SOLAS, aprovada em Novembro de 2000 e que vai entrar em vigor em 1 de Julho de 2002. Entre os novos requisitos aprovados está a obrigatoriedade de possuírem AIS todos os navios de passageiros, todos os navios com mais de 300 toneladas envolvidos em viagens internacionais e os navios de carga com mais de 500 toneladas, quer efectuem ou não viagens internacionais. Os requisitos a que terão que obedecer os AIS já foram aprovados pela OMI, em 1998, através de uma Resolução do Comité de Segurança Marítima [Ref. 7], que estabelece que os AIS terão que ser capazes de transmitir a posição, com elevado grau de exactidão, aumentando, assim, a exigência de exactidão do posicionamento.

Se a posição do navio, transmitida pelo *transponder* AIS, estiver errada, então a posição que está a aparecer, automaticamente, no sistema VTS e no display dos outros navios também está incorrecta. E trabalhando com base em informação incorrecta será sempre difícil obter, no fim, bons resultados.

<sup>2</sup> A Resolução A.857(20) estabelece apenas que: *a VTS organization requires adequate staff, housing, instrumentation and procedures governing operations and interactions between the various elements* (Parágrafo 2.5.1).

## 2. Conceito do DGPS

### 2.1. Definição

O conceito do DGPS é bastante simples e consiste em colocar um receptor GPS num local de coordenadas perfeitamente conhecidas e comparar a posição GPS obtida com as coordenadas exactas do local, por forma a gerar correcções aos sinais dos satélites (ver figura 2). Este receptor GPS, mais o processador que calcula as correcções, tomam a denominação de Estação de Referência. As correcções calculadas na Estação de Referência são radiodifundidas para os utilizadores nas proximidades, por forma a que eles possam melhorar a exactidão das suas soluções de posicionamento.



Fig. 2 – Estação de Referência a gerar correcções diferenciais

A radiodifusão das correcções para os utilizadores nas proximidades é feita usando mensagens padrão estruturadas num formato de dados semelhante ao dos sinais dos satélites GPS [Ref. 8].

A técnica DGPS funciona na perfeição se a maioria dos erros que afectam a exactidão do GPS forem comuns a todos os utilizadores localizados numa área significativa e forem independentes dos receptores usados por cada utilizador, o que é geralmente o caso. Importa, pois, analisar, de forma muito resumida, os erros do sistema GPS e até que ponto a técnica diferencial os permite anular.

### 2.2. Atraso na propagação ionosférica

Trata-se de um atraso na propagação do sinal dos satélites GPS ao atravessarem a ionosfera<sup>3</sup>, que provoca um erro máximo de 20-30m durante o dia e de 3-6m à noite [Ref. 8]. Para utilizadores localizados perto da Estação de Referência o trajecto dos sinais GPS desde os satélites é suficientemente próximo, o que permite anular completamente este erro. Ao aumentar a distân-

<sup>3</sup> A ionosfera é a camada da atmosfera que vai dos 50 aos 1000 Km de altitude e que contém electrões livres libertados por moléculas gasosas ionizadas aí existentes.



cia do utilizador à Estação de Referência os trajectos dos sinais dos satélites através da ionosfera começam a diferir, originando diferentes atrasos. Este efeito denomina-se descorrelação espacial, originando que, à medida que o utilizador se afasta da Estação de Referência, as correcções DGPS percam alguma validade.

### 2.3. Atraso na propagação troposférica

Trata-se de um atraso na propagação ocorrido na troposfera<sup>4</sup>. Este atraso atinge, logicamente, os maiores valores para satélites a baixa altitude, onde pode induzir erros até 3/4 m. A técnica diferencial permite corrigir quase totalmente este erro, mas essa compensação depende também da distância entre a Estação de Referência e o utilizador, devido à descorrelação espacial.

### 2.4. Erros nas efemérides dos satélites

Estes erros devem-se às diferenças entre a localização real dos satélites e a sua localização prevista com base nos dados das suas órbitas, contidos na mensagem de navegação. Essas diferenças são geralmente inferiores a 10m, representando um erro no posicionamento que é, normalmente, inferior a 2 m. Esse erro de posicionamento é quase integralmente compensado pela técnica diferencial.

### 2.5. Erros nos relógios dos satélites

Estes erros devem-se a diferenças entre o tempo do relógio do satélite e o tempo calculado pelos dados contidos nas mensagens de navegação dos satélites. O oscilador que controla o tempo do sinal do satélite é monitorizado pelo segmento terrestre do GPS, que determina o valor das correcções a aplicar a esse tempo, as quais são incluídas na mensagem de navegação do mesmo. O utilizador lê os dados dessa mensagem e ajusta o tempo em conformidade.

Na fase de desenvolvimento do sistema foram feitas medições dos erros dos relógios dos satélites, tendo-se concluído que originavam erros de posicionamento na ordem de 1-2m [Ref. 9].

De qualquer maneira, desde que os receptores da Estação de Referência e do utilizador usem os mesmos dados dos satélites, a compensação deste erro pela técnica diferencial é total.

<sup>4</sup> A troposfera é a camada mais baixa da atmosfera, estendendo-se até cerca de 16 km de altitude, na zona do equador, e até aproximadamente 8 km de altitude, sobre os pólos.

### 2.6. Erro de multi-trajecto (*multipath*)

Este erro deve-se a reflexões do sinal, proveniente dos satélites, em obstáculos ou estruturas locais de boa reflectividade. Chama-se erro de multi-trajecto pois, na verdade, o sinal chega à antena GPS por vários trajectos.

O multi-trajecto representa a mais problemática fonte de erros do GPS e não pode ser eliminado pela técnica diferencial, pois não existe correlação entre o efeito de multi-trajecto na Estação de Referência e o efeito de multi-trajecto no utilizador. Assim, é necessário ter um cuidado especial para evitar o efeito de multi-trajecto na Estação de Referência, já que os erros por ele originados serão incluídos nas correcções diferenciais radiodifundidas e somar-se-ão directamente aos erros do utilizador<sup>5</sup>.

Apesar de ser impossível compensar este erro através do DGPS, duas das mensagens transmitidas pelos serviços de DGPS marítimo incluem uma estimativa do erro de multi-trajecto na Estação de Referência<sup>6</sup>.

### 2.7. Ruído do receptor

Este erro é inerente a cada receptor GPS ou DGPS, dependendo do seu design e qualidade, e não pode ser eliminado pelo DGPS. Nos sistemas diferenciais até acontece normalmente um pequeno aumento neste erro pois há a considerar o ruído de dois receptores independentes (Estação de Referência e utilizador).

### 2.8. Sumário dos erros do GPS e do DGPS

O DGPS elimina ou reduz substancialmente a maioria dos erros do GPS, nomeadamente atraso na propagação ionosférica e troposférica, erros nas efemérides e nos

<sup>5</sup> Conseguem-se minimizar o multi-trajecto na Estação de Referência recorrendo a algumas técnicas, nomeadamente:

- colocar as antenas GPS acima de obstáculos e superfícies boas reflectoras, por forma a que a ocorrência de reflexões multi-trajecto seja minimizada;
- usar antenas com design e forma apropriados, como por exemplo antenas com plano de terra e antenas choke ring;
- usar antenas que apresentem grande atenuação para os sinais recebidos com muito pouca elevação, pois esses têm maiores probabilidades de corresponderem a sinais reflectidos;
- usar antenas que apresentem grande atenuação para os sinais recebidos com polarização circular esquerda, pois os sinais dos satélites possuem polarização circular direita a qual é invertida quando os sinais são reflectidos;
- usar processamento de sinal adequado na Estação de Referência.

<sup>6</sup> Nessas mensagens existe um campo onde se inclui uma estimativa do erro de multi-trajecto. Existem 15 códigos para esse campo, cada um correspondendo a uma diferente estimativa para esse erro, a qual pode ir de menos de 0,1m a mais do que 18,127m.

relógios dos satélites. A compensação do atraso na propagação ionosférica e troposférica é afectada pela des correlação espacial, pois à medida que a distância entre a Estação de Referência e o utilizador aumenta, o mesmo acontece com a probabilidade de os trajectos ionosférico e troposférico até aos dois receptores divergirem significativamente. A compensação do erro nas efemérides também sofre des correlação espacial, embora menos significativa, pois o aumento da separação também implica que diferentes componentes geométricas das efemérides sejam vistas pela Estação de Referência e pelo utilizador.

Assim, a correlação dos erros entre a Estação de Referência e o utilizador depende da distância entre eles, mas considera-se que essa correlação é quase total para utilizadores localizados a menos de 350 km da Estação de Referência [Ref. 10].

A tabela seguinte foi compilada de várias fontes [Refs. 8, 9 e 11] e sumaria os vários erros do GPS, com estimativas da sua magnitude média e da possível melhoria conseguida pelo DGPS, para utilizadores localizados perto da Estação de Referência.

Origem do Erro	GPS (m)	DGPS (m)
Atraso Ionosférico	3-30	0-2
Atraso Troposférico	3-4	0-1
Efemérides dos Satélites	2	0-0,5
Relógios dos Satélites	1-2	0
Multi-trajecto	0-2	0-2
Ruído do Receptor	0,3-1,5	0,3-1,5

Tabela 1 – Sumário dos erros do GPS e DGPS<sup>7</sup>

## 2.9. Exactidão do DGPS marítimo

Analisando a tabela anterior podemos concluir que o DGPS permite melhorar a exactidão do GPS de um valor teórico compreendido entre 13 e 36 metros (95%), garantido pelo *Standard Positioning Service*, para valores melhores do que 3 metros. Embora não exista nenhum valor «oficial» para a exactidão do DGPS marítimo que possamos citar, pode-se usar uma fórmula aproximada para determinar a exactidão, a 95%, num determinado ponto. Segundo essa fórmula, devemos pegar no erro típico junto à Estação de Referência (na ordem de 0,05 m), somar-lhe um erro adicional de 1m por cada 150 km de separação Estação de Referência – navegante e, por fim, juntar-lhe o erro provocado pelo equipamento do navegante, o qual pode variar de 0,3m a 1,5 m, dependendo da performance do receptor DGPS do navegante [Ref. 12]. Assim, para um utilizador com um bom receptor que esteja a menos de 300 km da Estação DGPS, a exactidão no posicionamento é melhor do que 3m (95%).

<sup>7</sup> Tabelas semelhantes poderão ser encontradas na literatura especializada, sendo que os valores variam ligeiramente de fonte para fonte.

## 3. Vantagens do DGPS para o navegante marítimo

### 3.1. Performance do GPS

Em 1 de Maio de 2000, as autoridades Norte-americanas terminaram com a *Selective Availability*, que era um mecanismo de degradação intencional da exactidão do GPS. Isso permitiu que os utilizadores civis do GPS passassem a ter uma exactidão significativamente melhor do que a até aí conseguida, que era de 100 metros (95%). As autoridades norte-americanas já actualizaram as especificações do *Standard Positioning Service* assegurando para os receptores GPS de uma só frequência exactidões compreendidas entre 13 e 36 m (95%).

Este valor mostra, claramente, que a exactidão do GPS, sem *Selective Availability*, melhorou significativamente, tornando o GPS natural suficiente para muitas aplicações e grupos de utilizadores. No entanto, continua a ser necessária melhor exactidão para algumas aplicações marítimas, nomeadamente, navegação em águas restritas (sobretudo dentro de barras e portos), dragagens, levantamentos hidrográficos e posicionamento de bóias, bem como algumas aplicações militares que discutiremos adiante.

Isto mesmo foi confirmado pela AISM/IALA (Associação Internacional de Sinalização Marítima / *International Association of Lighthouse Authorities*) numa declaração feita em Setembro de 2000: «a mais valia do DGPS em termos de exactidão continua essencial para que se cumpram os requisitos da OMI em entradas de portos e na fase de aproximação portuária» [Ref. 13].

Além disso, a retirada da *Selective Availability* não resolve a maior deficiência que o GPS tem para os navegantes: a fraca integridade.

Abro aqui um parêntesis para definir integridade, que é a qualidade que indica a confiança que se pode ter na informação fornecida por um sistema de radionavegação. A integridade, que é uma qualidade essencial em navegação (sobretudo para os navios que se encontrem em águas críticas), inclui a capacidade do sistema de providenciar avisos atempados aos utilizadores, quando não deva ser usado para navegação.

No caso do GPS, a *Master Control Station* – localizada na Base Aérea de *Schriever*, em Colorado Springs – monitoriza em permanência o estado de funcionamento dos satélites, usando para o efeito os dados recolhidos por 6 estações de monitorização terrestres espalhadas pelo globo. No entanto, essas 6 estações não garantem uma cobertura total da esfera celeste, seguindo cada satélite apenas em cerca de 93% do tempo. Isto significa que se o satélite falhar num período em que não está à vista de nenhuma das estações de monitorização, o GPS

pode dar informações erradas durante períodos relativamente longos sem ter capacidade de avisar os utilizadores da disfunção.

### 3.2. Performance do DGPS

Como já foi dito, a transmissão de correcções diferenciais aos sinais dos satélites GPS permite a eliminação da maior parte dos erros do GPS, melhorando a sua exactidão para valores na ordem de 1 metro, ou pouco mais. O fim da *Selective Availability*, além de melhorar a exactidão do GPS natural, vai permitir, também, dar mais qualidade à radiodifusão DGPS, melhorando a exactidão e passando a prestar outros serviços aos navegantes.

A *Selective Availability* era o erro mais difícil de compensar através da técnica diferencial, pois tratava-se de um erro artificialmente introduzido e com carácter aleatório, o que fazia com que as correcções diferenciais perdessem a sua validade ao fim de algum tempo. Isso obrigava a que as correcções DGPS fossem actualizadas muito frequentemente. Actualmente, todos os erros do GPS têm uma variação lenta<sup>8</sup>. Desta forma, já não é preciso transmitir correcções DGPS a cada 10 segundos, tal como acontecia quando a *Selective Availability* estava activada. Como diminuiu a frequência com que é necessário transmitir correcções diferenciais, pode-se passar a **transmitir informação sensível de segurança marítima**, tal como alguns Avisos à Navegação, usando uma **mensagem de texto** que é sempre incluída nas radiodifusões de DGPS. Essa mensagem, que foi criada originalmente para informar os navegantes sobre a operacionalidade de Estações DGPS adjacentes, poderá também passar a incluir informação meteorológica.

Além disso, mesmo que o navegante não consiga receber as correcções diferenciais durante alguns minutos, devido a interferências, continuará a obter bons resultados com o DGPS. Isto significa que o serviço DGPS se tornou **menos susceptível a interferências**.

Finalmente, como existe capacidade sobrança na *link* de rádio usado na transmissão das correcções DGPS poder-se-ão, num futuro próximo, começar a transmitir correcções à fase dos sinais GPS. Actualmente, só se transmitem correcções aos códigos do GPS, mas a transmissão futura de correcções de fase possibilitará exactidões na ordem dos milímetros<sup>9</sup>. Está já a ser desenvolvida uma nova edição do formato de dados a usar nas trans-

<sup>8</sup> Como a composição da ionosfera e da troposfera não varia bruscamente, também os erros aí originados têm uma variação lenta. Relativamente aos relógios dos satélites, o seu erro também varia muito lentamente, tal como o erro nas efemérides dos satélites.

<sup>9</sup> Existe uma regra empírica que diz que a exactidão conseguida na medição de um sinal radio é na ordem de 1% do seu comprimento. Como o código civil do GPS (código C/A) tem um

comprimento de cerca de 300 metros, isso significa que a exactidão na sua medição ronda os 3 metros. A exactidão de posicionamento conseguida é pior do que estes valores, devido, entre outros factores, à DOP (*Dilution Of Precision*). Cada ciclo dos sinais GPS tem um comprimento de cerca de 20 cm, o que significa que se consegue medir a fase de cada ciclo com uma exactidão na ordem de 0,2 cm e gerar correcções de fase de elevadíssima exactidão. O grande problema e a razão pela qual não se avançou já para a geração de correcções de fase é a dificuldade de se determinar em que ciclo é que estamos a medir a fase do sinal, pois cada ciclo mede apenas 20 cm.

missões DGPS que vai incorporar as correcções de fase, possibilitando exactidões milimétricas em tempo real. De qualquer maneira, isso ainda não é possível e as exactidões conseguidas com o DGPS ainda andam na ordem do metro. Em Portugal foram feitos testes, no ano de 1999, a partir de duas Estações DGPS experimentais, montadas pelo Instituto Hidrográfico (com material cedido a título de empréstimo por firmas do sector), no Cabo Espichel e no Cabo Carvoeiro e que já foram desmontadas. Num artigo publicado nos Anais do IH do ano de 2000 [Ref. 14], demos conta dos resultados então obtidos. A média dos erros das posições diferenciais observadas foi de 3,2m (95%), o que foi um bom resultado, sobretudo por se tratar de Estações experimentais. Em termos de cobertura, conseguiram-se alcances na ordem das 300 a 350 milhas.

Entretanto, já depois do fim da *Selective Availability*, mais concretamente em Outubro de 2000, foi realizada no Instituto Hidrográfico uma outra pequena experiência em que se gravaram posições diferenciais durante cerca de 115 horas, tendo-se obtido os seguintes resultados:

- exactidão a 95%<sup>10</sup>: 1,8 metros e
- exactidão a 99%: 2,4 metros.

Estes resultados, que estão ilustrados no diagrama da figura 3, são bastante satisfatórios e enquadram-se nos valores teóricos previstos no *Federal Radionavigation Plan – 1999*, que afirma que «os receptores DGPS poderão obter exactidões melhores do que 3 metros» [Ref. 15].

A melhoria de exactidão conseguida pelo DGPS é particularmente significativa quando se mede a *Speed Over Ground* (SOG) e o *Course Over Ground* (COG), sobretudo se o receptor de radionavegação estiver a fornecer *inputs* para o ECDIS, o AIS ou um sistema de ponte integrada. Como já se viu acima, estes sistemas requerem exactidões muito boas, difíceis de obter com o GPS natural.

No entanto, para os navegantes marítimos os benefícios do DGPS não se esgotam na melhoria de exactidão. A vantagem mais significativa do DGPS reside no facto de garantir uma boa integridade aos utilizadores.

<sup>10</sup> A exactidão a 95% é a habitualmente usada em navegação.

As Estações DGPS monitorizam, 24 horas por dia, a qualidade dos sinais GPS visíveis e caso detectem alguma disfunção ou avaria num satélite deixam de calcular correcções diferenciais para ele e sinalizam o seu número numa mensagem apropriada. A detecção de disfunções ou falhas nos satélites demora cerca de 10 segundos e a radiodifusão do correspondente aviso é feita em menos de 5 segundos.

O Comité de Radionavegação da AISM/IALA avisou os navegantes que: «o fim da *Selective Availability* não soluciona o problema da integridade: o GPS pode dar informação errada durante períodos de algumas horas sem aviso» [Ref. 13].

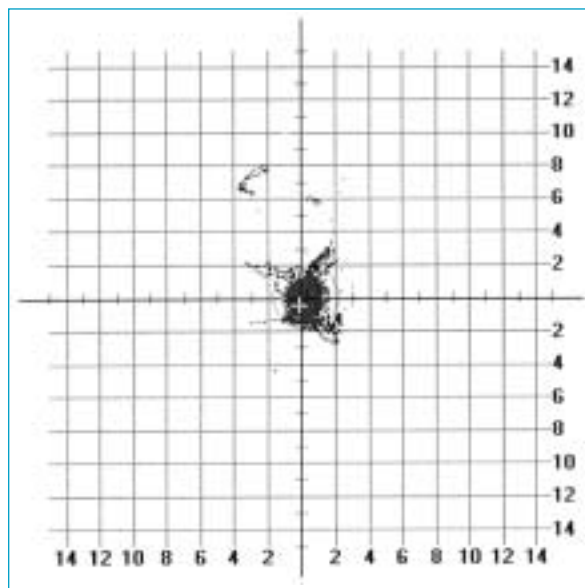


Fig. 3 – Diagrama que mostra a exactidão de posições DGPS e a sua distribuição em torno da posição verdadeira, numa experiência realizada no Instituto Hidrográfico.

### 3.3. Utilidade do DGPS em operações navais

A integridade é essencial para qualquer navio que esteja a navegar em águas críticas e que não pode estar sujeito a que a posição GPS dada pelo seu receptor esteja incorrecta, sem o saber. Além disso, é, também, um requisito essencial em operações navais, em que além de uma elevada exactidão é necessário um grau de confiança muito elevado na posição obtida. Os benefícios do DGPS, em guerra anfíbia (nomeadamente reconhecimento de praias e apoio de fogos), guerra de minas (rocega de minas e navegação em canal rocegado) e navegação em águas restritas, são óbvios, tanto pela elevada exactidão do DGPS, como também pela sua boa integridade.

Reconhecendo os benefícios do DGPS em operações navais, o Sub-grupo de Navegação da NATO identificou as potenciais utilizações militares do DGPS [Ref. 16], destacando-se a colocação/recuperação de objectos

enterrados e/ou afundados (minas e sensores), contra-medidas de minas no mar, determinação e controlo da trajectória de drones<sup>11</sup>, calibração de sistemas inerciais de navegação e navegação em aproximações portuárias.

## 4. Arquitectura geral da rede DGPS Portuguesa

Após realizar, em 1999, os testes de exactidão e de cobertura já acima referidos, estudaram-se várias configurações possíveis para a rede DGPS Portuguesa, tendo-se concluído que aquela que permitirá otimizar a relação custo / eficácia, será a seguinte:

- instalação, na Direcção de Faróis, da Estação de Controlo;
- instalação de duas Estações DGPS em Portugal Continental, uma em Sagres e outra no Cabo Carvoeiro;
- instalação de uma Estação DGPS no Arquipélago dos Açores e;
- instalação de uma Estação DGPS no Arquipélago da Madeira.

A finalidade da Estação de Controlo é efectuar a monitorização e controlo, em tempo real, do funcionamento dos vários componentes das Estações DGPS, através da troca de mensagens num sistema de comunicações para o efeito, que no caso Português será uma linha telefónica comutada. A Estação de Controlo recebe relatos periódicos de cada Estação DGPS (por exemplo: informação sobre o estado de funcionamento), sendo a frequência desses relatos determinada pelo operador da Estação de Controlo, que também poderá contactar cada Estação DGPS e consultar o seu estado a qualquer momento. Sempre que ocorra uma situação geradora de um alarme numa Estação DGPS, a Estação de Controlo é imediatamente notificada. A Estação de Controlo é constituída por um computador, com *software* destinado ao controlo das Estações DGPS, e uma impressora, para impressão de alarmes e outros relatos.

Relativamente às Estações DGPS propriamente ditas, os bons alcances obtidos nos testes de 1999 levaram a optar por uma arquitectura constituída por 2 Estações no Continente. Nesses testes, verificou-se que cada uma das Estações experimentais atingia alcances na ordem das 300 a 350 milhas, cobrindo, individualmente, quase toda a costa ocidental, mesmo sendo Estações cuja potência radiada não excederia 0,5 a 1 Watt. Se Estações experimentais com uma potência radiada tão baixa conseguiram cobrir, com poucas falhas, a costa ocidental então é

<sup>11</sup> Drone é um alvo aéreo, normalmente em forma de pequeno avião, que é comandado à distância para que os navios possam treinar tiro anti-aéreo e/ou anti-míssil.

natural esperar que as Estações DGPS definitivas, que terão uma potência radiada de 10 Watt, garantam uma cobertura muito mais alargada e sem falhas. Isso mesmo está reflectido no diagrama de cobertura da figura 4. No cálculo deste diagrama considerou-se uma potência radiada de 10 Watt, a dispersão esférica, a condutividade do solo e o ruído atmosférico. Os valores de ruído atmosférico foram retirados da base de dados da União Internacional das Telecomunicações [Ref. 17] para 24 combinações de hora e estação do ano, tendo-se usado o valor de ruído que não é excedido em 97% do tempo.

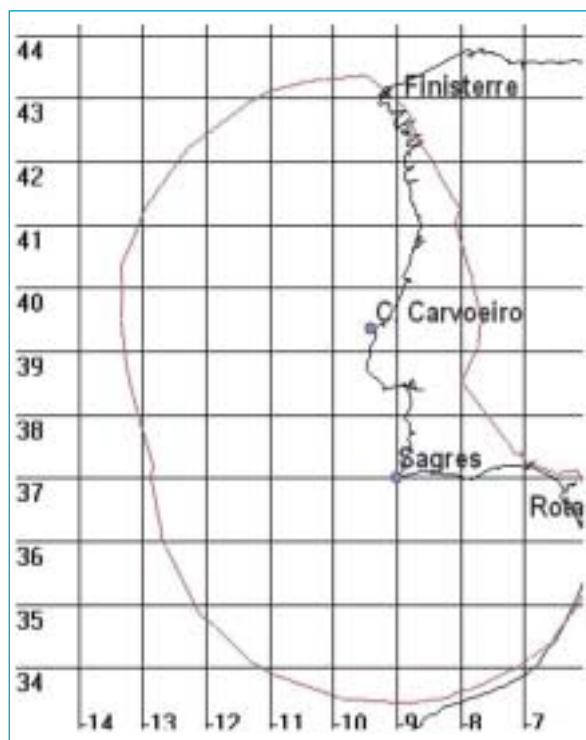


Fig. 4 – Diagrama de cobertura da rede DGPS Portuguesa para Portugal Continental

A instalação de uma Estação DGPS no Cabo de Sagres e de outra no Cabo Carvoeiro permitirá, em conjunto com as Estações Espanholas do Cabo Finisterre e de Rota<sup>12</sup>, que toda a faixa costeira nacional esteja sempre coberta por, pelo menos, duas Estações DGPS. Assim, se uma Estação, qualquer que ela seja, tiver uma avaria, nunca deixará de haver cobertura pelo sistema DGPS na faixa costeira nacional:

- se a Estação DGPS de Sagres tiver uma avaria então a costa sul de Portugal permanecerá

<sup>12</sup> A Estação DGPS de Finisterre está em funcionamento desde 1998. Relativamente à Estação DGPS de Rota, as autoridades Espanholas lançaram o concurso para a sua aquisição durante o ano de 2001, o que significa que ela estará operacional muito próximo das datas previstas para a entrada em serviço das Estações DGPS de Portugal Continental.

coberta pela Estação DGPS de Rota e a costa ocidental permanecerá coberta pela Estação DGPS Portuguesa do Cabo Carvoeiro, havendo ainda uma parte dessa costa coberta em duplicado pela Estação Espanhola de Finisterre, e;

- se a Estação do Cabo Carvoeiro tiver uma avaria então a costa sul de Portugal, bem como a costa ocidental abaixo da Figueira da Foz, permanecerão cobertas pela Estação DGPS instalada em Sagres e a costa ocidental Portuguesa acima do Cabo Carvoeiro permanecerá coberta pela Estação DGPS do Cabo Finisterre.

Essa arquitectura permitirá, também, que todos os pontos da costa nacional fiquem a menos de 300 km de distância de uma das Estações DGPS nacionais. Este facto é bastante importante pois, como se referiu no parágrafo 2.8., a correlação entre os erros do GPS que afectam a Estação de Referência, e são por ela corrigidos, e os erros que afectam o utilizador é quase total para utilizadores localizados a menos de 350 Km da Estação de Referência [Ref. 10].

A opção por instalar uma Estação DGPS em Sagres é justificada, não só por ser a única zona que apresenta linha directa sobre o mar tanto para a costa sul como para a costa ocidental, mas também por apresentar a vantagem de ser a zona de Portugal Continental mais próxima do Arquipélago da Madeira, o que, com os alcances esperados e com a instalação (prevista) de uma Estação nesse Arquipélago, permitirá uma cobertura integral da área compreendida entre as duas Zonas Económicas Exclusivas, incluindo os Bancos Ampère e Josephine.

A opção por instalar a outra Estação DGPS no Cabo Carvoeiro tem a ver, sobretudo, com o facto de essa zona se situar aproximadamente a meia distância entre a Estação DGPS de Sagres e a Estação DGPS do Cabo Finisterre. O ponto intermédio situa-se entre os Cabos Carvoeiro e Mondego, sendo que se escolheu o primeiro por possuir melhores condições para a instalação de uma Estação DGPS, nomeadamente por ser mais proeminente e por possuir menos obstruções a limitar a recepção do sinal dos satélites<sup>13</sup>.

A Estação DGPS de Sagres será instalada nos terrenos da antiga Estação Radio Naval (ERN) de Sagres, a qual foi desactivada em 31 de Outubro de 2000, estando, actualmente, em curso o seu processo de alienação. A ERN de Sagres, além da sua óptima localização, possuía também algumas equipamentos e infra-estruturas aproveitáveis na futura Estação DGPS, nomeadamente:

- 2 antenas que eram utilizadas na transmissão do sinal Morse do serviço de socorro, em 500 kHz.

<sup>13</sup> No Cabo Mondego, a Serra da Boa Viagem limita grandemente a visibilidade da esfera celeste, dificultando a recepção dos sinais dos satélites GPS.

Este serviço cessou em 1 de Fevereiro de 1999 e as antenas deixaram de ter utilização, podendo, agora, proceder-se à restauração de uma delas para a transmissão das correcções DGPS, que se faz numa frequência muito próxima (283,5-315 kHz).

- Ligação à rede telefónica privativa da Marinha – Sistema Integrado de Comunicações da Marinha (SINCOMAR), através do qual se farão as comunicações entre a Estação de Controlo e esta Estação, sem quaisquer custos adicionais.
- Gerador de emergência, que poderá alimentar esta Estação DGPS em caso da falha da rede pública.

A Estação DGPS do Carvoeiro vai ser instalada junto ao farol com o mesmo nome, utilizando algumas das infra-estruturas já aí existentes, nomeadamente:

- Antena transmissora que pertencia ao radiofarol do Carvoeiro. Com a desactivação dos radiofaróis Portugueses, em 31 de Dezembro de 2000, esta antena deixou de ser usada, podendo, agora ser recuperada para servir como antena de recurso desta Estação DGPS.
- Gerador de emergência do farol do Cabo Carvoeiro, que poderá alimentar esta Estação DGPS em caso de corte de energia.

Como se viu, para reduzir os custos das Estações DGPS, procurou-se que elas fossem instaladas em locais onde já existem algumas infra-estruturas que vão ser aproveitadas, ou pelo menos recuperadas, para este novo serviço de difusão de correcções DGPS.

Relativamente aos Açores, foi considerada a hipótese de instalar duas Estações DGPS, mas acabou por se optar pela instalação de uma única Estação. Tal como no Continente, os bons alcances obtidos com as Estações experimentais levaram a concluir que a instalação de uma única Estação DGPS, no Grupo Central, permitirá cobrir toda a faixa costeira em torno do Arquipélago dos Açores. A Estação DGPS dos Açores será equipada com transmissores mais potentes do que os que equiparão as Estações DGPS do Continente, até porque nos Açores será possível transmitir sinais de maior potência, já que não se coloca o problema de interferir com Estações DGPS de outros países. Dessa forma, instalar-se-ão transmissores de 1 KWatt, por forma a conseguir radiar uma potência de 20 Watt, que garantirá a cobertura das águas costeiras em redor do Arquipélago.

Obviamente que a instalação de duas Estações DGPS teria algumas vantagens, nomeadamente a existência de redundância que permitiria ultrapassar eventuais avarias numa das Estações. No entanto, isso iria duplicar os custos onerando significativamente este projecto, o qual pode, de qualquer maneira, ser perfeitamente concretizado instalando apenas uma Estação

DGPS nos Açores, desde que ela possua duplicação de todos os equipamentos, por forma a que nenhuma avaria individual possa comprometer o seu funcionamento.

O local de instalação da futura Estação DGPS dos Açores ainda não está escolhido. Uma primeira escolha recaiu sobre a ERN da Horta. No entanto, existe a possibilidade de parte dessa ERN vir a mudar para outra ilha, pelo que a selecção definitiva do melhor local para instalar a futura Estação DGPS dos Açores ainda é prematura. Como se irá instalar apenas uma Estação DGPS, ela terá que ficar localizada no Grupo Central, havendo preferência pelas ilhas do Faial e da Terceira por possuírem ligações aéreas mais frequentes, o que permitirá uma reacção mais rápida a eventuais avarias inopinadas. De qualquer maneira, só se prevê a aquisição e instalação desta Estação DGPS em 2003, o que deixa tempo disponível para a escolha do local definitivo.

As considerações feitas para o Arquipélago dos Açores são todas válidas para a Madeira, sendo ainda reforçadas pelo facto de a reduzida extensão do Arquipélago aconselhar, logo à partida, a instalação de apenas uma Estação DGPS, uma vez que as duas ilhas habitadas do Arquipélago da Madeira distam apenas 30 milhas entre si.

Tal como acontece nos Açores, também aqui se deverá dispor de redundância total nos equipamentos a instalar, por forma a garantir uma melhor disponibilidade do serviço. De qualquer maneira, em caso de avaria na Estação DGPS da Madeira, parte das suas águas continuarão a receber correcções DGPS, transmitidas pelas 2 estações que os Espanhóis estão em vias de instalar no Arquipélago das Canárias.

A Estação DGPS da Madeira vai ficar localizada na ERN do Porto Santo que, à semelhança dos locais escolhidos no Continente, já possui algumas condições de base, nomeadamente:

- Ligação à rede telefónica privativa da Marinha – Sistema Integrado de Comunicações da Marinha (SINCOMAR), o que permite que as comunicações entre a Estação de Controlo e esta Estação se façam sem quaisquer custos adicionais.
- Gerador de emergência, que poderá alimentar esta Estação DGPS em caso da falha da rede pública.

A escolha da ilha do Porto Santo, em detrimento da ilha da Madeira, deve-se, sobretudo, ao facto de esta última possuir uma orografia extremamente acidentada. Na ilha da Madeira, os diversos picos existentes além de dificultarem a propagação do sinal DGPS, também dificultariam a recepção dos sinais dos satélites, pois qualquer pico reduz a visibilidade da esfera celeste.

## 6. Configuração das Estações DGPS

### 6.1. Estações DGPS de Portugal Continental

Os componentes principais de cada Estação DGPS são a Estação de Referência (que gera as correcções diferenciais e as modula num sinal rádio), o transmissor (que amplifica o sinal modulado que lhe chega da Estação de Referência), a antena transmissora (que põe o sinal com as correcções diferenciais no ar) e o Monitor de Integridade (que monitoriza a qualidade do sinal transmitido).

Nas Estações DGPS do Continente haverá duplicação dos componentes essenciais, por forma a assegurar uma elevada disponibilidade do serviço. Para isso, nas Estações DGPS do Continente duplicar-se-á a Estação de Referência (por ser o núcleo de toda a Estação DGPS), o transmissor (por ser o componente individual mais susceptível a falhas) e a antena transmissora (por estar bastante exposta às intempéries).

Assim, estas Estações DGPS terão a seguinte configuração:

- 2 Estações de Referência;
- 1 Monitor de Integridade;
- 1 computador para controlo local;
- 2 Transmissores;
- 2 Antenas transmissoras.

A função de cada Estação de Referência é comparar a sua posição com a posição obtida pelo sistema GPS a fim de gerar correcções aos sinais dos satélites. As coordenadas de cada Estação de Referência são determinadas com uma exactidão melhor do que  $\pm 50\text{mm}$ , para que se garanta que as correcções geradas são bastante exactas. A Estação de Referência que está, efectivamente, a gerar as correcções que estão a ser radiodifundidas é designada por activa, enquanto a outra é designada por passiva. Caso os parâmetros de funcionamento da Estação de Referência activa saiam fora de determinados limites pré-estabelecidos, o sistema comuta automática-

mente para a outra Estação de Referência (passiva). Cada Estação de Referência consistirá num receptor GPS *dual-frequency* de 12 canais e respectiva antena receptora, um processador de correcções diferenciais e um modulador.

O Monitor de Integridade garante os elevados padrões de disponibilidade e integridade pretendidos, monitorizando o sinal radiodifundido pela Estação DGPS por forma a verificar a exactidão das correcções geradas pela Estação de Referência activa e a qualidade desse mesmo sinal. Sempre que os parâmetros monitorizados estejam fora dos valores limite estabelecidos, o Monitor de Integridade gera os alarmes adequados. Esses alarmes, bem como informações sobre o estado de funcionamento da Estação DGPS, são comunicados à Estação de Controlo através da linha telefónica que as liga uma à outra. O Monitor de Integridade também dá *feedback* positivo à Estação de Referência, a intervalos regulares, assegurando que esta se mantém informada do seu estado de funcionamento. Cada Monitor de Integridade consistirá num receptor GPS *single-frequency* de 12 canais e respectiva antena receptora, um receptor DGPS (que recebe as correcções diferenciais) e respectiva antena receptora e um processador.

O computador para controlo local é um computador *desktop*, cuja função é servir de intermediário entre a Estação de Controlo e os diversos componentes da Estação DGPS, nomeadamente Estações de Referência, Monitor de Integridade e transmissores. Este computador está carregado com software muito semelhante ao da Estação de Controlo, podendo efectuar localmente todas as tarefas de monitorização e controlo.

O transmissor é a unidade responsável por amplificar o sinal, já modulado, proveniente de uma Estação de Referência, enviando-o para a antena de transmissão. Caso ocorra uma falha que origine uma queda significativa na potência transmitida, ou mesmo a perda do sinal, o sistema comuta automática e imediatamente para o outro transmissor.

A antena transmissora destina-se a radiodifundir as correcções diferenciais, calculadas e moduladas por uma

das Estações de Referência e amplificadas no transmissor. A antena transmissora é o componente das Estações DGPS que está mais exposto a ventos, chuvas, poeiras, salinidade, etc. Desta forma, é necessário fazer com alguma frequência (geralmente de 3 em 3 anos) grandes acções de manutenção, que poderão levar até alguns dias. Além disso, poderão ocorrer avarias inopinadas, como por exemplo a própria queda da antena, o que já aconteceu em Espanha por acção de ventos

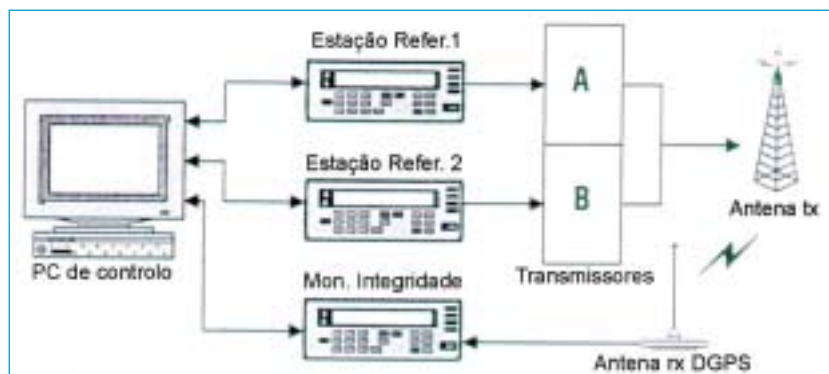


Fig. 5 – Esquema de funcionamento das Estações DGPS do Continente. (Embora este esquema mostre apenas 1 antena transmissora, as Estações DGPS Portuguesas possuirão duas antenas)

muito fortes. Para evitar que as Estações DGPS deixem de transmitir quando ocorrer um problema na antena transmissora ou houver necessidade de proceder a acções de manutenção, optou-se por dispor em cada local de uma antena transmissora secundária.

A antena principal será uma antena nova, construída e projectada para o efeito, e da qual se espera um rendimento elevado. A antena secundária será, no caso das Estações Continentais, uma antena já existente, que se vai restaurar por forma a poder ser utilizada nos períodos de incapacidade da antena principal. Esta antena possuirá, logicamente, um rendimento inferior, mas assegurará o funcionamento da Estação DGPS, com a única diferença de ter alcances inferiores. Como já foi referido, na Estação DGPS de Sagres, vai-se usar como antena de recurso uma antena que era utilizada na transmissão do sinal Morse do serviço de socorro, em 500 kHz, e na Estação DGPS do Cabo Carvoeiro, vai-se usar a antena que pertenceu ao radiofarol que aqui funcionou até 31 de Dezembro de 2000 e que também já serviu para a realização de experiências DGPS em 1999. Ambas as antenas já se encontram algo envelhecidas, o que inviabiliza a sua utilização como antenas primárias das Estações DGPS, mas poderão ser usadas como antenas de recurso, e em caso de alguma falha ou avaria na antena primária, comutar-se-á, localmente, para essas antenas de reserva.

## 6.2. Estações DGPS dos Arquipélagos

Tal como já foi referido, a configuração das Estações DGPS dos Açores e da Madeira vai ser diferente da adoptada no Continente. Havendo apenas uma Estação DGPS em cada arquipélago, será necessário assegurar redundância total, duplicando todos os componentes dessas Estações, para garantir que a operação de cada Estação DGPS não será afectada por nenhuma falha individual de hardware. Assim, além da duplicação de Estações de Referência, de transmissores e de antenas, instalar-se-ão também dois Monitores de Integridade e dois computadores para controlo local. A outra diferença mais significativa reside em que nos arquipélagos se vão instalar duas antenas transmissoras novas e iguais. Isso permitirá efectuar a comutação à distância das antenas transmissoras, o que não é possível no Continente, em que a comutação das antenas só pode ser feita localmente. Além disso, quando se mudar de antena não haverá redução do alcance de transmissão, visto elas serem iguais.

Desta forma as Estações DGPS dos Açores e Madeira serão constituídas por:

- 2 Estações de Referência;
- 2 Monitores de Integridade;
- 2 computadores para controlo local;
- 2 Transmissores;
- 2 Antenas transmissoras novas e inter-mutáveis.

## 6.3. Sistema de comunicações

O sistema de comunicações da rede DGPS Portuguesa permitirá estabelecer comunicações nos dois sentidos, entre as Estações DGPS e a Estação de Controlo. No sentido da Estação de Controlo para as Estações DGPS, permitirá interrogar, periodicamente ou a pedido, cada uma das Estações DGPS para conhecer o seu estado de funcionamento ou alterar os seus parâmetros de funcionamento. No sentido inverso, permitirá às Estações DGPS comunicarem a ocorrência de qualquer alarme ou situação previamente discriminada à Estação de Controlo.

O componente principal deste sistema de comunicações serão os canais telefónicos que farão a interligação entre os diversos locais que constituem a rede DGPS Portuguesa. A escolha desse canal telefónico dependerá das redes disponíveis em cada Estação DGPS e simultaneamente disponíveis na Estação de Controlo. Sempre que houver disponíveis canais da rede SINCOMAR serão esses os utilizados, visto não implicarem o pagamento de qualquer taxa. Está nesta situação, por exemplo, a Estação DGPS de Sagres, que ficará localizada nos terrenos da antiga ERN de Sagres, onde existem estes canais. Quando não estiver disponível ligação através da rede SINCOMAR, empregar-se-á uma linha telefónica de um operador público, o que acontecerá, por exemplo, no Cabo Carvoeiro.

O sistema de comunicações da rede DGPS Portuguesa usará ligações comutadas (não dedicadas). Com essas ligações, as Estações DGPS não estarão permanentemente ligadas à Estação de Controlo. Quando for necessário transmitir uma mensagem de/para as Estações DGPS, estabelece-se uma ligação telefónica entre elas e a Estação de Controlo, tal como quando se usa um telefone em casa, só que neste caso automaticamente. As ligações comutadas implicam custos de operação muito reduzidos.

## 6.4. Exactidão esperada da rede DGPS Portuguesa

A exactidão conseguida pelos navegantes após a aplicação de correcções DGPS está condicionada por vários factores, alguns dos quais não dependem de quem fornece o serviço DGPS, nomeadamente:

- Performance do equipamento DGPS usado pelo navegante;
- Situação do sistema GPS: número de satélites, ângulo de elevação, geometria e relação sinal/ruído;
- Condições atmosféricas na área e separação entre a Estação de Referência e o navegante.

De qualquer maneira, a fórmula apresentada na secção 2.9. dá uma boa aproximação de quais os resulta-



dos que se podem esperar. Sabendo que por cada 150 km de separação Estação de Referência – navegante as correcções diferenciais sofrem uma degradação da exactidão na ordem de 1m, podemos estimar a performance obtida junto aos principais portos nacionais. Foi isso que se fez nas tabelas 2, 3 e 4, em que se apresenta a distância à Estação de Referência e a exactidão esperada. Para fazer face às diferentes performances possíveis para o equipamento DGPS usado pelo navegante, considerou-se o erro provocado pelo ruído do receptor a variar entre 0,3 e 1,5 metros, daí o intervalo de variação da exactidão esperada.

No caso da tabela 2, referente a Portugal Continental, além da Estação DGPS Portuguesa mais próxima de cada porto, acrescentou-se a Estação DGPS de Finisterre, nos casos em que ela se encontra mais próxima do que qualquer das Estações nacionais.

Porto	Estação DGPS mais próxima	Distância (NM)	Exactidão esperada (95%)
Viana do Castelo	Finisterre	70	1,25-2,45m
	Carvoeiro	145	2,15-3,35m
Leixões	Finisterre	110	1,75-2,95m
	Carvoeiro	115	1,75-2,95m
Aveiro	Carvoeiro	85	1,45-2,65m
F. da Foz	Carvoeiro	55	1,05-2,25m
Lisboa	Carvoeiro	40	0,85-2,05m
Setúbal	Carvoeiro	60	1,15-2,35m
Sines	Sagres	55	1,05-2,25m
Portimão	Sagres	25	0,65-1,85m
Faro	Sagres	50	0,95-1,15m

Tabela 2 – Exactidão esperada da rede DGPS Portuguesa nos principais portos do Continente

A análise desta tabela permite concluir que, teoricamente, será possível obter uma exactidão melhor do que 3 metros em todos os portos nacionais do Continente. Estes valores são baseados em cálculos puramente teóricos e, após a instalação das Estações DGPS em Portugal, será necessário efectuar extensos testes de validação, em que se avaliará a exactidão real obtida ao longo da costa Portuguesa, confirmando, ou não, esta estimativa. De qualquer maneira, realça-se, mais uma vez, que presentemente mais importante do que a melhoria de exactidão associada ao DGPS é a capacidade de alertar os navegantes para a ocorrência de avarias ou falhas no sistema GPS, já para não mencionar a capacidade de enviar informação urgente de segurança marítima, que é um benefício importante, mas lateral.

Apresenta-se de seguida a tabela com a previsão de resultados para os Açores, em que é possível verificar que, de facto, uma só Estação DGPS vai permitir a obtenção de bons resultados, mesmo nas ilhas mais afastadas da Estação DGPS, nomeadamente Santa Maria e Flores.

Porto	Ilha	Distância à Est. DGPS (NM)	Exactidão esperada (95%)
Vila do Porto	S. Maria	190	2,75-3,95m
Ponta Delgada	S. Miguel	150	2,25-3,45m
Angra Heroísmo	Terceira	70	1,25-2,45m
Praia da Vitória	Terceira	80	1,35-2,55m
Horta	Faial	1,5	0,35-1,55m
S. Roque	Pico	20	0,65-1,85m
Velas	S. Jorge	25	0,65-1,85m
Santa Cruz	Flores	130	1,95-3,15m

Tabela 3 – Exactidão esperada da rede DGPS Portuguesa nos principais portos dos Açores

Para a Madeira, os resultados esperados são muito bons dada a menor extensão deste arquipélago (tabela 4).

Porto	Ilha	Distância à Est. DGPS (NM)	Exactidão esperada (95%)
Funchal	Madeira	40	0,85-2,05m
Machico	Madeira	30	0,75-1,95m
Porto Santo	Porto Santo	2	0,35-1,55m

Tabela 4 – Exactidão esperada da rede DGPS Portuguesa nos principais portos da Madeira

## 7. Conclusão

Como vimos neste artigo, em termos de exactidão, a melhoria conseguida com o DGPS já não é tão significativa como era antes de ser desligada a *Selective Availability*, embora tenha grande importância quando se navega em águas restritas. No entanto, o grande benefício do DGPS para os navegantes marítimos consiste na integridade, uma vez que se aumenta o grau de confiança na posição obtida.

Assim, a instalação de Estações DGPS em Portugal é um contributo muito importante para melhorar a segurança da navegação nas nossas águas, permitindo garantir uma exactidão no posicionamento bastante boa ao longo de toda a faixa costeira nacional, ao mesmo tempo que assegura uma boa integridade, aumentando a confiança dos utilizadores.

A maior parte dos Estados Europeus com costa atlântica já estão a providenciar um serviço de difusão de correcções DGPS. O baixo custo dos receptores DGPS tem contribuído para o sucesso desses equipamentos, que se podem encontrar já em grande número dos navios de porte médio e elevado.

A instalação de uma rede DGPS em Portugal ganhou maior importância a partir do momento em que os radiofaróis nacionais foram desligados (31 de Dezembro de 2000). A desactivação dos radiofaróis em Portugal, tal como aconteceu em quase todos os países desenvol-

vidos<sup>14</sup>, foi uma consequência directa do decréscimo muito acentuado no uso da radiogoniometria como método de posicionamento, dada a sua inadequação às necessidades actuais de posicionamento exacto e rápido.

Com o fim dos radiofaróis marítimos, o único sistema de radionavegação utilizável em águas nacionais passou a ser o GPS, tornando-se, assim, bastante importante uma rede DGPS que permita compensar algumas fraquezas do GPS, proporcionando aos navegantes um serviço de grande utilidade.

Atento a esta realidade, o Instituto Hidrográfico estudou as várias possibilidades de instalação de Estações DGPS em Portugal, tendo-se optado pela solução que se apresenta no quadro seguinte.

	N.º de Estações	Localização das Estações DGPS	Potência radiada	Alcance	Frequência
Portugal Continental	2	ERN Sagres	10 Watt	200 mi	305,5 kHz
		Farol Cabo Carvoeiro	10 Watt	200 mi	311,5 kHz
Arquipélago dos Açores	1	Horta	20 Watt	300 mi	308,0 kHz
Arquipélago da Madeira	1	ERN Porto Santo	10 Watt	200 mi	287,5 kHz

Tabela 5 – Sumário da arquitectura da rede DGPS Portuguesa

Foi lançado, em Maio de 2001, o Concurso Público Internacional para a aquisição das Estações DGPS a instalar em Portugal Continental, incluindo a Estação de Controlo. O Instituto Hidrográfico vai supervisionar a sua instalação, prevendo-se que elas comecem a transmitir durante o ano de 2002. Após os testes de validação, a efectuar pelo Instituto Hidrográfico, a operação e manutenção da rede DGPS Portuguesa passará para a Direcção de Faróis, que é a entidade responsável pelas radio-ajudas à navegação em Portugal.

Espera-se lançar o Concurso Público Internacional para a aquisição das Estações DGPS dos Açores e da Madeira no início de 2003, por forma a que essas Estações comecem a transmitir no ano seguinte.

## Agradecimentos

Agradece-se a colaboração do CTEN EMT Manuel Honorato, não só na revisão deste artigo, como também no trabalho que lhe deu origem.

<sup>14</sup> Os países Nórdicos foram os primeiros a desligarem os seus radiofaróis, com a Suécia e a Finlândia a fazê-lo logo em 1996, a Dinamarca dois anos depois e a Noruega em 1999. Os Estados Unidos, a França e o Reino Unido terminaram a operação dos seus radiofaróis marítimos em 31 de Dezembro de 2000, tal como Portugal.

## Lista de abreviaturas

AIS – *Automatic Identification Systems*  
 AISM/IALA – Associação Internacional de Sinalização Marítima/*International Association of Lighthouse Authorities*  
 CEI – Comissão Electrotécnica Internacional  
 DGPS – *Differential Global Positioning System*  
 ECDIS – *Electronic Chart Display and Information Systems*  
 ERN – Estação Radio Naval  
 GPS – *Global Positioning System*  
 OMI – Organização Marítima Internacional  
 SINCOMAR – Sistema Integrado de Comunicações da Marinha  
 SOLAS – *Safety Of Life At Sea*  
 VTS – *Vessel Traffic Service*

## Referências

- [Ref. 1] «Operação radar para recolha de elementos de tráfego marítimo – Cabos da Roca, S. Vicente e Carvoeiro», cap. frag. José Santos Heitor e cap. ten. António Rocha de Freitas – *Anais do Instituto Hidrográfico*, 1987.
- [Ref. 2] Resolução A.817(19) da OMI, «*Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems*» – 23 de Novembro de 1995.
- [Ref. 3] Resolução 61174 da CEI, «*ECDIS – Operational and performance standards, methods of testing and required test results*», 1998.
- [Ref. 4] Norma S-57 (3.ª ed.) da Organização Hidrográfica Internacional «*Transfer Standards for Digital Hydrographic Data*», 1997.
- [Ref. 5] Resolução MSC.64 (67) da OMI, «*Adoption of new and amended performance standards*», 4 de Dezembro de 1996.
- [Ref. 6] Resolução A.857(20) da OMI, «*Guidelines for Vessel Traffic Services*», 27 de Novembro de 1997.
- [Ref. 7] Anexo 3 à Resolução MSC.74 (69) da OMI, «*Recommendation on performance standards for an Universal Automatic Identification System (AIS)*», 12 de Maio de 1998.
- [Ref. 8] «*RTCM Recommended Standards for Differential NAVSTAR GPS Service*», Versão 2.2, Janeiro de 1998.
- [Ref. 9] «*Global Positioning System – Theory and applications – Vol. II*», Editado por B.W.Parkinson e James Spilker Jr, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc, Capítulo 1, Parágrafo III-B.
- [Ref. 10] «*NAVSTAR GPS User Equipment – Introduction*» – *US Air Force Space Systems Division*, Fevereiro de 1991.
- [Ref. 11] «*An introduction to Differential GPS*», Prof. Terry Moore – Universidade de Nottingham.
- [Ref. 12] «*Broadcast Standard for the USCG DGPS Navigation Service (COMDTINST M16577.1)*» – *US Department of Transportation – US Coast Guard*, Abril de 1993.
- [Ref. 13] «*Draft Note to IALA Members on DGNSS Development*» (RNAV/14/5/3) – *14<sup>th</sup> Session of the Radionavigation Committee*, 14 de Setembro 2000.
- [Ref. 14] «Experiências DGPS realizadas em Portugal», ITEN Sardiha Monteiro, *Anais do Instituto Hidrográfico*, Ano 2000.
- [Ref. 15] «*Federal Radionavigation Plan – 1999*» – *US Department of Transportation e US Department of Defense*, Dezembro de 1999
- [Ref. 16] «*Harmonized inputs on Potential Military Applications of Differential GPS*» – *NATO C3 Board – Sub-Group on Navigation*, 13 de Fevereiro de 1997.
- [Ref. 17] «*Characteristics and applications of atmospheric radio noise data*» – *International Radio Consultative Committee – Report 435-6* – ITU, Geneva 1988.