



## HIDROGRAFIA E CARTOGRAFIA EM SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA

Telmo DIAS<sup>1</sup>, Isabel FORTES<sup>1</sup> e João VICENTE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa

([geraldes.dias@hidrografico.pt](mailto:geraldes.dias@hidrografico.pt); [isabel.fortes@hidrografico.pt](mailto:isabel.fortes@hidrografico.pt); [delgado.vicente@hidrografico.pt](mailto:delgado.vicente@hidrografico.pt))

**Palavras-chave:** Levantamentos hidrográficos, Sistemas sondadores multifeixe, Designação de sondas, Carta Eletrónica de Navegação

**Resumo:** Em 11 de junho de 2003 o navio "Nautila" naufragou na barra sul de Lisboa, perdendo alguns contentores e afundando-se ao largo, provocando o condicionamento da navegação na barra e porto de Lisboa. O levantamento hidrográfico para identificação dos perigos à navegação durou 3 dias. Após o processamento dos dados, a 17 de junho, foi emitido o aviso aos navegantes com a localização dos objetos passíveis de representação cartográfica.

Decorrente das responsabilidades de segurança da navegação, o Instituto Hidrográfico criou, em 2013, a Equipa Hidrográfica de Intervenção Rápida, com o objetivo de proporcionar uma resposta pronta e eficaz em cenários como o descrito.

O incremento da resolução dos sondadores multifeixe e a evolução das técnicas de processamento de sinal têm provocado um aumento considerável do volume de dados. No entanto, as melhorias na capacidade computacional têm potenciado o desenvolvimento de algoritmos que, aplicados enquanto ferramentas de análise, tornam mais profícua e objetiva a avaliação do hidrógrafo, reduzindo significativamente o tempo de processamento.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo o estabelecimento de um procedimento para o levantamento e processamento de dados de sondadores multifeixe, em situações de emergência, minimizando o tempo de resposta, garantindo a deteção de perigos e a segurança da navegação e gerando um produto padronizado género carta eletrónica.



## 1. Introdução

Em 2014 entraram no porto de Lisboa 2 709 navios, foram transportados 23 466 541 passageiros e movimentadas 12 252 699 toneladas de mercadoria (Porto de Lisboa, 2014). Estes valores confirmam-no como um porto marítimo de tráfego e interesse económico significativos. Naturalmente, o seu acesso e navegação estão condicionados pela profundidade disponível e pela fiabilidade e acessibilidade dessa informação.

Em 11 de junho de 2003 o navio "Nautila" naufragou na barra sul do porto de Lisboa, perdendo alguns contentores e afundando-se ao largo, provocando o condicionamento da navegação na barra e porto de Lisboa e respetivos prejuízos associados (Ribeiro, 2003). O levantamento hidrográfico para identificação e localização dos decorrentes perigos à navegação durou 3 dias. A 17 de junho, após o processamento dos dados, foi emitido o aviso aos navegantes com a localização dos objetos passíveis de representação cartográfica (Instituto Hidrográfico, 2003).

Decorrente das responsabilidades de segurança da navegação em caso de desastre ou de catástrofes naturais, para avaliação de áreas restritas ou interditas à navegação e de eventuais intervenções para manutenção da navegabilidade e da acessibilidade aos portos (Decreto-Lei 202/2007), o IH (Instituto Hidrográfico) criou, em 2013, a EHIR (Equipa Hidrográfica de Intervenção Rápida), com o objetivo de proporcionar uma resposta multidisciplinar, pronta e eficaz em cenários como o descrito (Instituto Hidrográfico, 2014a). Desde a sua operacionalização, a EHIR já foi ativada em quatro situações reais: nas buscas de uma aeronave que se despenhou ao largo da Baleeira (setembro de 2014), na deteção de perigos para a segurança da navegação no interior do porto de Viana do Castelo (outubro de 2014), nas buscas de uma embarcação que naufragou ao largo da Praia das Maças (fevereiro de 2015) e nas buscas de uma aeronave que se despenhou ao largo da Trafaria (agosto de 2015).

O incremento da resolução dos sistemas sondadores multifeixe (SMF) e a evolução das técnicas de processamento de sinal acústico têm provocado um aumento considerável do volume de dados (Vicente *et al.*, 2011). No entanto, as melhorias na capacidade computacional têm potenciado o desenvolvimento de algoritmos que, aplicados enquanto ferramentas de análise, tornam mais profícua e objetiva a avaliação do hidrógrafo, reduzindo significativamente o tempo de processamento (Calder e Smith, 2002), fator determinante em situações idênticas à acima descrita.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo o estabelecimento de um procedimento para o levantamento e processamento de dados de SMF, em situações de emergência, minimizando o tempo de resposta e eventuais prejuízos daí resultantes, garantindo a deteção de perigos e a segurança da navegação e gerando um produto padronizado género carta eletrónica.

## 2. Processamento de dados hidrográficos

No IH o processamento e validação de dados hidrográficos provenientes de SMF é efetuado através de modelação batimétrica com estimação de incerteza, recorrendo ao algoritmo CUBE (*Combined Uncertainty and Bathymetry Estimator*) (Calder e Wells, 2007) implementado no *software* CARIS HIPS (CARIS, 2015). A modelação batimétrica tem como objetivo, não só a minimização da subjetividade inerente ao processamento por parte do hidrógrafo, mas também, face ao volume de dados, o incremento da respetiva eficiência (Calder, 2003). Nesse sentido, as superfícies geradas são utilizadas inicialmente como referência para a filtragem de valores anómalos (Vicente *et al.*, 2012).

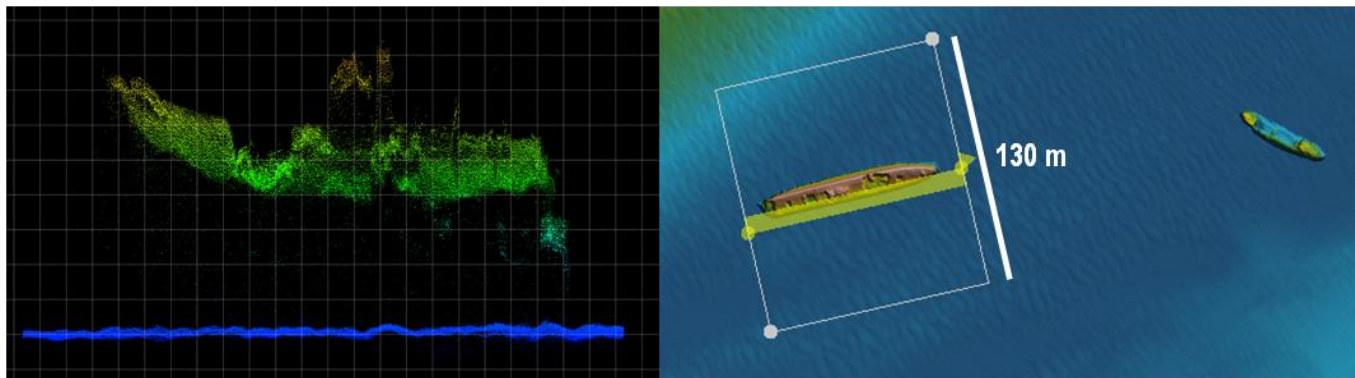
O processamento decorre em diversas fases. Quando o algoritmo evidencia um desempenho irregular, representando estruturas incorretamente, torna-se necessária a designação de sondas por parte do hidrógrafo, segundo critérios predefinidos (Instituto Hidrográfico, 2014b).

Atualmente, esta tarefa constitui-se a mais morosa, uma vez que carece de visualização e análise dos dados em subconjuntos, conforme ilustrado na figura 1. Para o efeito, são avaliadas as diversas camadas de informação geradas pelo algoritmo, que permitem focar a análise em áreas específicas da superfície.

Assim, em situações de emergência, torna-se essencial viabilizar o recurso a aplicações que visem abreviar e não substituir o trabalho do hidrógrafo, garantindo o controlo de qualidade e melhorando a objetividade da sua análise e a proficiência do respetivo processamento.

Nesse sentido, o *software* CARIS HIPS versão 9.0.15 possui uma aplicação (*Critical Sounding Detection*) que possibilita a designação automática de sondas (CARIS, 2015). Esta aplicação desenha as isóbatas da superfície com um espaçamento ajustável, normalmente metade da resolução da superfície. Posteriormente, as sondas a designar são procuradas dentro das

isóbatas fechadas, que representam elevações ou depressões. Adicionalmente, é possível incluir um filtro radial que permite adaptar a deteção das sondas mínimas à escala do produto final.



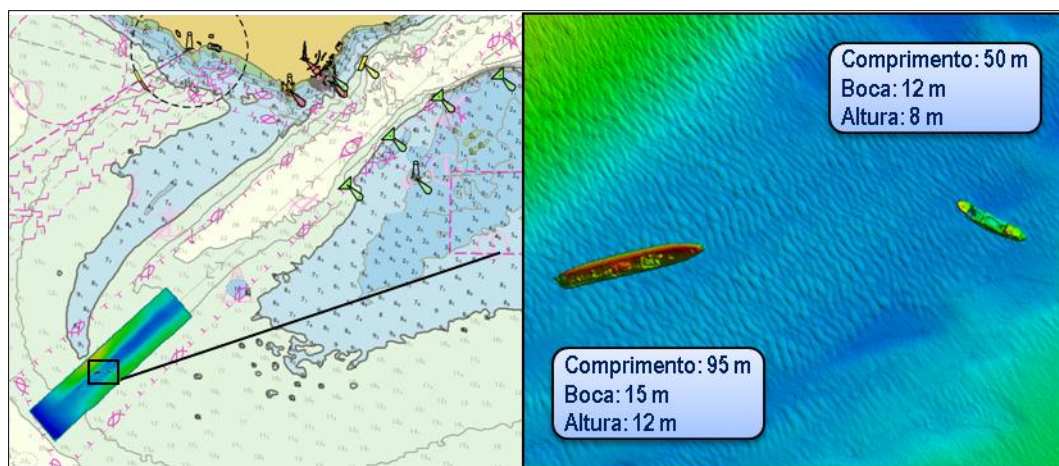
**Figura 1** – Exemplo de visualização de dados num subconjunto (retângulo de contorno branco) e respetiva janela (retângulo de sombreado amarelo)

No caso particular de navios naufragados, onde podem existir estruturas na coluna de água (por exemplo, os mastros), o algoritmo de deteção do fundo do sistema de aquisição SIS (*Seafloor Information System*) pode não as conseguir reconhecer (Kongsberg, 2009). Apenas os dados validados pelo algoritmo na aquisição são importados como profundidades para o *software* CARIS HIPS, sendo, neste caso, necessário recorrer à análise da informação da coluna de água para identificação das sondas mínimas dessas eventuais estruturas (Marques *et al.*, 2014).

### 3. Metodologia

#### 3.1 Situação

Na execução deste trabalho foi simulada a colisão entre dois navios e consequente naufrágio no enfiamento da barra sul do porto de Lisboa, numa área de fundo arenoso e regular com 17 metros de profundidade, conforme ilustrado na figura 2. Para além dos navios naufragados a área possuía ainda 3 objetos de pequenas dimensões (cerca de 0,5 metros) detetados num levantamento anterior.



**Figura 2** – Área do levantamento com pormenor dos navios naufragados

#### 3.2 Levantamento

Para a deteção dos eventuais perigos à navegação foi definida uma zona de busca com 2,32 km<sup>2</sup>. Em função da área e da profundidade média, de modo a cumprir os requisitos para uma cobertura batimétrica de deteção de objetos (Vicente *et al.*, 2012),



estimou-se uma duração aproximada de 12 horas para a execução do levantamento (8 horas de sondagem efetiva), efetuado a bordo da lancha "Atlanta", equipada com o SMF *Kongsberg* EM 3002.

O sondador acústico utilizado é apropriado para a realização de levantamentos em águas pouco profundas, operando na frequência de 300 kHz, apresentando uma largura de feixe de  $1,5^\circ \times 1,5^\circ$  e garantindo uma largura de faixa sondada igual a 3,5 vezes a profundidade (Kongsberg, 2006).

Foram utilizados os dados recolhidos no âmbito do último levantamento realizado no passo da barra sul do porto de Lisboa, em abril de 2015. Para avaliação do algoritmo *Critical Sounding Detection* foram utilizados e reposicionados dados adquiridos em levantamentos anteriores sobre navios naufragados no rio Tejo.

### 3.3 Processamento

O processamento e validação dos dados hidrográficos baseou-se na metodologia em vigor no IH (Instituto Hidrográfico, 2014c). A filtragem de dados anómalos e a designação de sondas seguiu dois métodos distintos: (a) edição do modelo batimétrico CUBE, com análise e limpeza de dados anómalos, seguida de designação manual de sondas mínimas pelo hidrógrafo; (b) modelação batimétrica sem edição de dados anómalos, seguida de designação automática de sondas mínimas através do algoritmo do *software* CARIS HIPS, selecionando um espaçamento entre isóbatas de 0,25 metros e um raio de supressão de 10 metros.

Posteriormente foram construídas duas superfícies CUBE, onde foram incluídas as sondas previamente designadas.

### 3.4 Produtos finais

O produto final gerado após o processamento e validação dos dados hidrográficos consistiu, para cada processo, numa superfície CUBE com 0,5 metros de resolução e um ficheiro de texto, em formato ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), com as coordenadas retangulares e as profundidades dos nodos referidas ao ZH (Zero Hidrográfico).

Posteriormente, foram criados, para as respetivas superfícies, produtos cartográficos S-57 (S-57/3 - *IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data*) (IHO, 1996), para serem sobrepostos à CEN (Carta Eletrónica de Navegação) do porto de Lisboa. Em situações de emergência, a metodologia adotada pelo IH consiste na elaboração destes produtos que, quando são sobrepostos às CEN, utilizam todas as vantagens e potencialidades que estas oferecem.

Como exemplo destes produtos, na figura 3 apresenta-se o produto S-57 gerado a partir da superfície com designação manual de sondas pelo hidrógrafo e que oferece a melhor solução cartográfica.

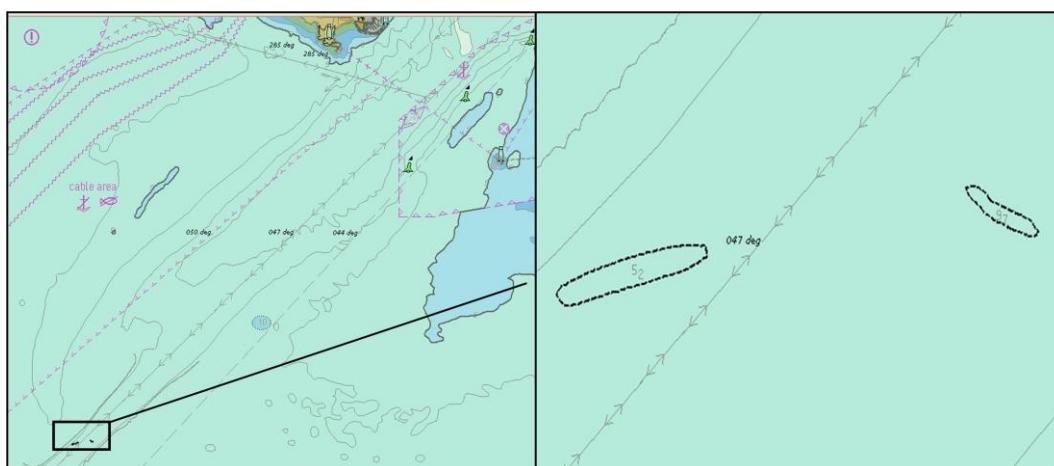


Figura 3 – Pormenor dos navios naufragados com o valor da sonda mínima no produto S-57 final

## 4. Resultados

### 4.1 Processamento

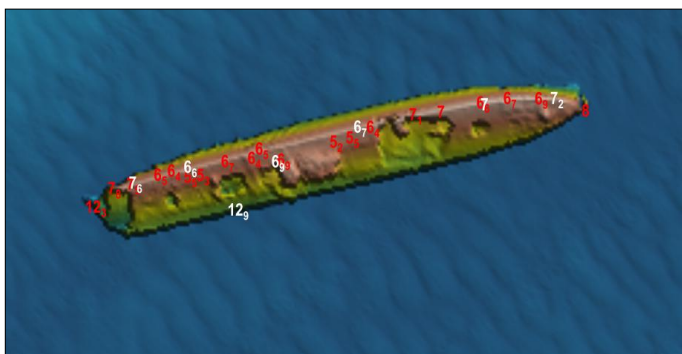
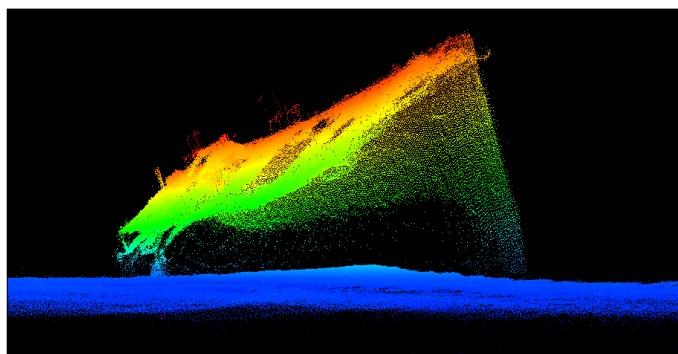
No processamento e validação dos dados hidrográficos obtiveram-se os resultados descritos no quadro 1.

**Quadro 1** – Comparação entre os dois métodos de processamento

Método	Duração do processamento	Sondas designadas	Sonda mínima
Designação manual de sondas	8 horas	39	5,29 metros
Designação automática de sondas	5 horas	13	6,62 metros

Embora a diferença entre a duração do processamento possa não ser considerada significativa, torna-se importante realçar que 4 das 5 horas despendidas no segundo método, não requereram a presença do hidrógrafo. Releva-se ainda o facto de ter sido utilizado um computador portátil comum (processador i5 2,50 GHz, memória 8,00 GB) não dedicado ao processo.

Por outro lado, a discrepância entre a quantidade de sondas designadas demonstra a subjetividade da análise do hidrógrafo, não existindo um padrão na definição do espaçamento entre sondas, conforme ilustrado na figura 4. A disparidade entre as sondas mínimas detetadas nos dois métodos (1,33 metros) evidencia a singularidade da análise humana: o hidrógrafo designou a sonda mínima das estruturas sobre o casco (eventuais mastros), enquanto o *software* designou a sonda mínima do casco, conforme ilustrado na figura 5.

**Figura 4** – Sondas designadas manualmente (vermelho) e automaticamente (branco)**Figura 5** – Nuvem de pontos do *wreck*, evidenciando a presença de estruturas sobre o casco

Adicionalmente, verificou-se que no segundo método apenas foram designadas sondas sobre os navios naufragados, ignorando-se os 3 objetos identificados e designados pelo hidrógrafo.

#### 4.2 Superfície

A comparação das superfícies geradas através dos dois métodos foi efetuada através da respetiva diferença (superfície gerada após designação automática subtraída à superfície gerada após designação manual), tendo-se obtido os resultados descritos no quadro 2.

**Quadro 2** – Diferença entre as duas superfícies

Parâmetro	Resultado
Número de comparações	9 289 673
Média das diferenças	-0,002 m
Desvio padrão	0,014 m

Os resultados obtidos demonstram que os dados editados manualmente pelo hidrógrafo deram origem a uma superfície menos profunda, privilegiando a segurança da navegação. As diferenças resultantes revelam que, em média, as superfícies são idênticas. A superfície de diferenças evidencia ainda que, a ausência de filtragem dos dados anómalos por parte do hidrógrafo, no segundo método, resulta em erros entre os 0,05 e os 0,10 metros nos feixes centrais, conforme ilustrado na figura 6. Os valores referidos encontram-se dentro do intervalo de incerteza (0,25 metros) definida para um levantamento de ordem especial (IHO, 2008).

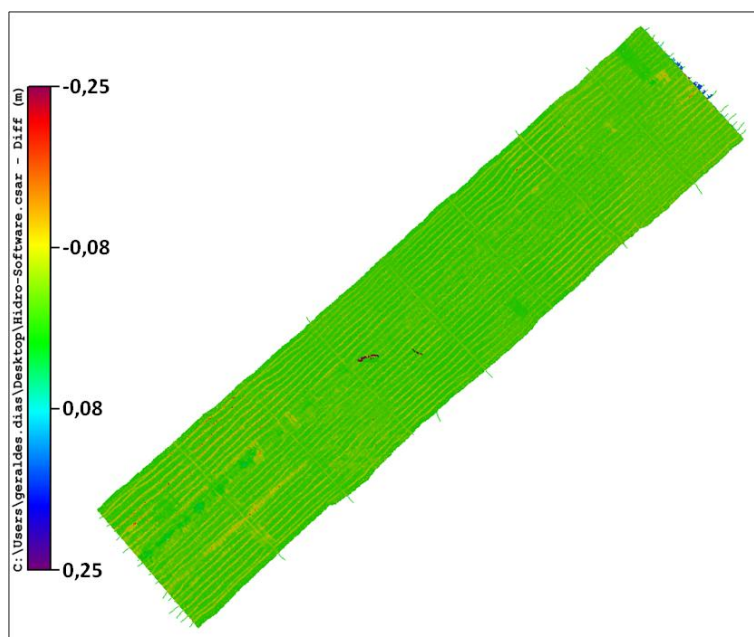


Figura 6 – Superfície de diferenças

## 5. Conclusão

Atualmente, em condições favoráveis de operação dos equipamentos, em fundos regulares, com sobreposição de 50% entre faixas sondadas adjacentes e recurso à modelação batimétrica através do CUBE, o processamento de dados hidrográficos, não obstante o seu volume, pode ser efetuado a um ritmo que permita uma resposta adequada a situações de emergência. Contudo, quando o algoritmo representa incorretamente estruturas, torna-se necessária a designação de sondas por parte do hidrógrafo, um processo que se pode revelar demasiado lento e subjetivo, apesar de existirem critérios predefinidos, face à resposta pretendida.

A realização deste trabalho permitiu examinar uma aplicação do *software* CARIS HIPS que executa a designação automática de sondas. Os resultados obtidos permitem concluir que, apesar de poder constituir uma boa ferramenta de análise, a sua utilização na elaboração de produtos finais deve ainda ser encarada com precaução.

Embora o aumento exponencial do volume de dados provenientes de SMF necessite de um processamento cada vez mais automatizado, a validação, nesta fase, carece ainda do controlo e supervisão do hidrógrafo. Essa dependência evidencia-se no caso de navios naufragados onde, maioritariamente, a sonda mínima não é identificada pelo algoritmo de deteção do fundo, tornando-se essencial a análise dos dados de refletividade da coluna de água.

Relativamente aos equipamentos a utilizar em cenários como o descrito, apesar dos progressos na tecnologia multifeixe e do facto deste levantamento ter sido efetuado com um SMF, a deteção de pequenos objetos deve ainda ser complementada com a utilização de um sonar lateral. As características deste equipamento, neste tipo de fundos, conferem-lhe algumas vantagens consideráveis sobre o SMF (Brissette e Clarke, 1999).

Dos trabalhos a desenvolver, salienta-se o exame desta aplicação numa área de fundo irregular e rochoso, bem como o aperfeiçoamento de aplicações que permitam a inspeção fluída dos dados da coluna de água.

Os produtos S-57 gerados representam a melhor informação em tempo útil, permitindo a correta avaliação e a rápida tomada de decisões em situações de emergência. Adicionalmente, por constituírem um processo célere de atualização cartográfica, podem ser usados como complemento aos tradicionais avisos à navegação.

Na avaliação da capacidade de resposta do IH a um cenário de emergência como o simulado no presente trabalho, conclui-se que, com meios prontos e disponíveis e com condições meteo-oceanográficas favoráveis, é possível apresentar um produto que garanta a segurança da navegação dois dias após início dos trabalhos de campo.





## Referências Bibliográficas

- Brissette, M.; Clarke, J. (1999). Side Scan Versus Multibeam Echosounder Object Detection: A Comparative Analysis. Proceedings of the United States Hydrographic Conference.
- Calder, B.; Smith, S. (2002). A Comparison of the Automated Navigation Surface to Traditional Smooth Sheet Compilation. University of New Hampshire.
- Calder, B. (2003). Automatic Statistical Processing of Multibeam Echosounder Data. University of New Hampshire.
- Calder, B.; Wells, D. (2007). CUBE User's Manual, Version 1.13. University of New Hampshire.
- CARIS (2015). CARIS HIPS and SIPS 9.0.15, User Guide. CARIS.
- Decreto-Lei 202/2007 de 25 de Maio. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Diário da República, 1.ª série, N.º 101.
- IHO (1996). IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data. Edition 3.1, November 2000, International Hydrographic Organization.
- IHO (2008). S-44 IHO Standards for Hydrographic Surveys, 5th Edition, International Hydrographic Organization.
- Instituto Hidrográfico (2003). Avisos aos Navegantes, Grupo 13/2003. Instituto Hidrográfico.
- Instituto Hidrográfico (2014a). Instrução Permanente, Equipa Hidrográfica de Intervenção Rápida. Instituto Hidrográfico.
- Instituto Hidrográfico (2014b). Norma Técnica, Especificações dos Levantamentos Hidrográficos. Instituto Hidrográfico.
- Instituto Hidrográfico (2014c). Procedimento de Trabalho, Processamento de dados SMF. Instituto Hidrográfico.
- Kongsberg (2006). EM 3002, Multibeam echo sounder, Technical specifications. Kongsberg Maritime AS.
- Kongsberg (2009). Seafloor Information System, Operator Manual, Release 3.6. Kongsberg Maritime AS.
- Marques, C.; Monteiro, C.; Almeida, R.; Vicente, J. (2014). Visualização de navios afundados pela retroreflexão acústica na coluna de água. 3<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica. Instituto Hidrográfico.
- Porto de Lisboa (2014). Publicação Estatística 2014. Porto de Lisboa.
- Ribeiro, F. (2003). Afundamento de cargueiro afecta navegação no Porto de Lisboa. Jornal "Público", edição online.
- Vicente, J.; Monteiro, C.; Veiga, L.; Sanches, P.; Artilheiro, F. (2011). Modelação batimétrica com estimação de incerteza. VII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia. Ordem dos Engenheiros.
- Vicente, J.; Silva, R.; Sanches, P.; Arenga, M. (2012). Revisão das Especificações Técnicas para a execução de Levantamentos Hidrográficos. 2<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica. Instituto Hidrográfico.