

# Desenvolvimentos Recentes da Hidrografia em Portugal

Paulo Marreiros e Fernando Artilheiro  
Instituto Hidrográfico – Portugal (IHPT)  
Marinha – Ministério da Defesa Nacional

## 1. Introdução

A hidrografia é um ramo das ciências do mar que se dedica ao estudo da natureza, da fisiografia e das características dinâmicas do fundo do mar. A hidrografia aplica técnicas de posicionamento utilizadas em geodesia e navegação, assim como técnicas para a medição de profundidades por meios acústicos.

Os destinatários da informação hidrográfica são os navegantes, oceanógrafos, engenheiros de construções marítimas e portuárias, geólogos, ambientalistas, geofísicos, etc. Na área dos transportes marítimos, a informação hidrográfica é essencial para assegurar a segurança da navegação, o controlo de dragagens e a navegabilidade de canais de navegação interiores. Na gestão da zona costeira e portuária, a informação hidrográfica é essencial para o planeamento, execução e manutenção de obras marítimas, aquacultura, controlo da erosão, delimitação de fronteiras, localização de zonas para depositar os produtos de dragagens, etc. De um modo geral, a informação hidrográfica é necessária para a maioria das aplicações relacionadas com o mar.

Nos últimos anos, os requisitos da informação hidrográfica têm aumentado em termos de qualidade e quantidade. A entrada em vigor da Publicação Especial S-44 (*"IHO Standards for Hydrographic Surveys"*, 4ª edição) da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), contempla a utilização de novos métodos e equipamentos na execução de levantamentos hidrográficos. De igual modo, são considerados diversos tipos de utilizadores finais da informação hidrográfica, desde os navegantes profissionais, à navegação de recreio, e à exploração dos recursos marinhos, à gestão de zonas costeiras.

A utilização de novos métodos e equipamentos em hidrografia influenciam os sistemas de posicionamento, os sistemas de sondagem, o processo de aquisição e a apresentação da informação. O aparecimento do Sistema de Posicionamento Global (SPG/GPS) veio revolucionar os sistemas de posicionamento utilizados em hidrografia, nomeadamente o GPS Diferencial (DGPS) e o GPS On-The-Fly (GPS OTF). Os sondadores multifeixe (SMF), um equipamento do final dos anos oitenta - vieram revolucionar os métodos usados na determinação do relevo submarino. O desenvolvimento de computadores mais pequenos e mais potentes proporcionaram o desenvolvimento de programas para aquisição e processamento de dados de uma forma mais rápida e eficaz.

É objectivo deste artigo mostrar, resumidamente, como estes novos métodos e equipamentos funcionam, assim como referir as suas capacidades e limitações, de acordo com a experiência adquirida pelo IHPT.

## 2. Informação Hidrográfica

A informação hidrográfica utilizada para representar o relevo do fundo do mar é composta por um conjunto de coordenadas geodésicas, que definem a posição horizontal, e pela profundidade, ou seja, a distância vertical entre um dado ponto no fundo do mar e um nível de referência.

### 2.1 Posição Horizontal

Em hidrografia são utilizados métodos de posicionamento relativo, em virtude de nenhum método de posicionamento absoluto possuir a exactidão necessária para a

execução dos levantamentos hidrográficos. Isto significa que as coordenadas horizontais são determinadas como vectores relativos com início em posições de coordenadas conhecidas. Estes pontos de coordenadas conhecidas, designados por pontos hidrográficos, são utilizados para instalar as estações de referência do sistema de posicionamento da sondagem, ou para instalar estações de verificação da exactidão do referido sistema.

Antes da execução do levantamento hidrográfico propriamente dito, é necessário possuir uma rede de pontos em terra devidamente perenizados e coordenados a partir de uma rede geodésica adequada (figura 1).

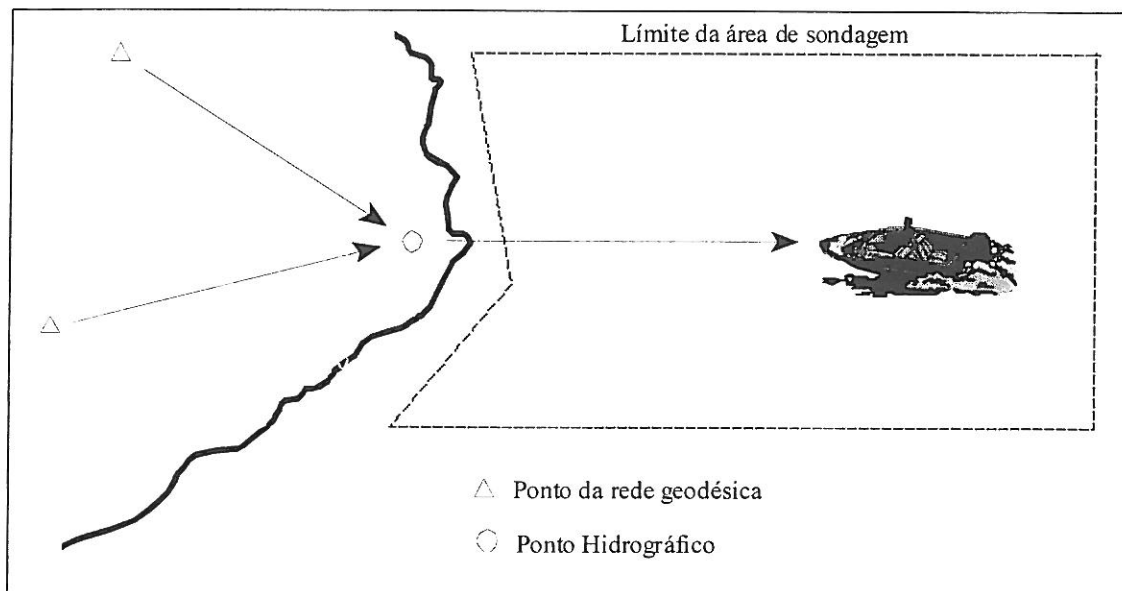


Figura 1 – Determinação da Posição Horizontal.

## 2.2 Profundidade

O nível de referência para as profundidades é o Zero Hidrográfico (ZH.). O ZH. é um nível estabelecido por convenção com base em observações maregráficas, de tal modo que o nível do mar esteja sempre acima do ZH.. Embora existam diversos critérios em diferentes países, o nível adoptado em Portugal, à data, situa-se abaixo da mais baixa maré astronómica.

Durante a execução de um levantamento hidrográfico, a profundidade medida pelo sondador é designada pela "sonda à hora". A esta profundidade tem que se subtrair a altura da maré, por forma a obter a profundidade referida ao ZH., designada por "sonda reduzida" (figura 2). Normalmente, a altura de maré é determinada a partir de um marégrafo ou escala de maré instalada nas proximidades da área de sondagem. Quando tal não acontece a altura de maré é lida a partir de uma marca de nivelamento utilizando uma fita especialmente calibrada para o efeito. Em qualquer dos casos, é assumido que a altura de maré lida pelo marégrafo, escala de maré ou fita, é a mesma para toda a área de sondagem.

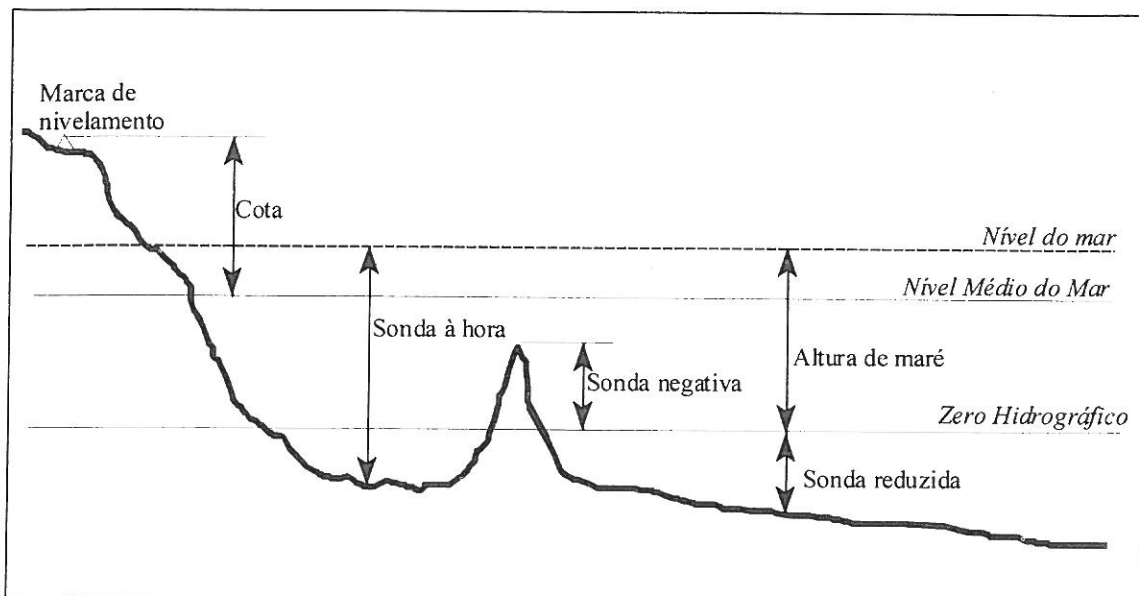


Figura 2 – Níveis de maré e planos de referência.

### 2.3 Requisitos de exactidão

As Normas S-44 [OHI, 1998] estabelecem os requisitos mínimos para a execução dos levantamentos hidrográficos em função das características das áreas a que se destinam, nomeadamente quanto à sua utilização típica. Em função das áreas a sondar e dos fins a que se destinam os dados, os levantamentos hidrográficos são classificados em quatro ordens: Especial, 1, 2 e 3. Os requisitos de exactidão foram estabelecidos para um nível de confiança de 95%.

Os levantamentos de Ordem Especial são efectuados em áreas típicas de portos, zonas de atracação, e canais de navegação, onde as margens de segurança são muito pequenas. Um levantamento hidrográfico de Ordem Especial requer uma cobertura total do fundo, quer utilizando sondadores multifeixe - de preferência com a utilização de imagem acústica, quer completando a sondagem de sondadores de feixe simples com a utilização de sonares laterais. Em princípio, os levantamentos de Ordem Especial devem ser realizados em áreas com menos de 40 metros de profundidade.

Os levantamentos hidrográficos de Ordem 1 são efectuados em portos e suas aproximações, caminhos recomendados, águas interiores e águas costeiras de grande densidade de tráfego. Em princípio, estes levantamentos devem ser realizados em áreas com menos de 100 m de profundidade. Embora os requisitos sejam menos exigentes que para a Ordem Especial, em algumas áreas pode ser necessária a cobertura total do fundo (com sondadores multifeixe ou sonares laterais), em virtude das características do fundo e da existência de obstruções que possam constituir risco para a navegação.

Os levantamentos hidrográficos de Ordem 2 são efectuados em áreas com profundidades inferiores a 200 m, não abrangidas pelas ordens anteriores, e onde um conhecimento geral da batimetria é suficiente para assegurar que não existem obstruções que ponham em perigo o tráfego ou os trabalhos marítimos na área. No entanto, pode ser necessária a cobertura total do fundo, em zonas seleccionadas, caso se suspeite que as características do fundo, ou a possível existência de algumas obstruções, possam constituir perigo para a navegação.

Os levantamentos de Ordem 3 são efectuados em áreas com profundidades superiores a 200 m, não abrangidas pelas ordens anteriores.

Os requisitos de exactidão básicos para as diversas ordens de levantamentos hidrográficos estão contidos na Tabela 1, onde as exactidões se referem a um nível de confiança de 95%. A exactidão requerida para as profundidades reduzidas é dada pela seguinte equação, onde os parâmetros  $a$  e  $b$  são dados na Tabela 1, e  $d$  é o valor da sonda reduzida:

$$\text{Exactidão}(95\%)=(a^2+(b*d)^2)^{1/2}$$

	Ordem Especial	Ordem 1	Ordem 2	Ordem 3
<b>Exactidão do posicionamento</b>	2 m	$5 + 0.05*d$	$20 + 0.05*d$	$150 + 0.05*d$
<b>Exactidão das profundidades</b>	$a=0.25$ m $b=0.0075$	$a=0.5$ m $b=0.013$	$a=1.0$ m $b=0.023$	$a=1.0$ m $b=0.023$

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

### 3. Sistemas de Posicionamento

Para cada levantamento hidrográfico, a selecção dos métodos e equipamentos a serem utilizados deve basear-se na ordem do levantamento, equipamentos disponíveis, profundidade média, características da área de sondagem e condições ambientais esperadas. Na selecção de um sistema de posicionamento para a execução de levantamentos hidrográficos, devem ter-se em conta os seguintes factores:

- Exactidão;
- Cobertura;
- Disponibilidade;
- Intervalo de tempo entre posições consecutivas;
- Número máximo de utilizadores simultâneos;
- Existência de ambiguidades geométricas;
- Posicionamento a duas ou três dimensões;
- Facilidade de operação;
- Custo de aquisição, manutenção e exploração.

A exactidão de um sistema de posicionamento é importante para que se cumpram as normas da OHI. Os sistemas de posicionamento utilizados devem ser periodicamente verificados e/ou calibrados, em geral, uma vez por dia ou no início e no fim de cada sessão de sondagem, conforme o período menor. Alguns sistemas de posicionamento permitem verificar a integridade para cada posição de controlo, devido a possuírem redundância de observações.

Cobertura é a área dentro da qual um sistema de posicionamento fornece informação de posição com a exactidão exigida. Depende da geometria, potência do sinal, sensibilidade do receptor, ruído atmosférico, etc.

Disponibilidade é a percentagem do tempo durante o qual um determinado sistema de posicionamento pode ser utilizado. Depende das capacidades do receptor, factores ambientais, etc.

Tendo em conta os factores acima mencionados, o GPS tem vindo a assumir uma posição de destaque para a execução de levantamentos hidrográficos. No IHPT, para além

do GPS, o PolarFix continua a ser utilizado em levantamentos de Ordem Especial ou de Ordem 1.

### **3.1 O Sistema Global de Posicionamento (GPS)**

O GPS foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (EUA) para fins militares. O sistema foi considerado operacional em 1995, fornecendo posicionamento em modo absoluto, a três dimensões, em qualquer local do mundo, 24 horas por dia. O sistema depende de uma componente espacial composta por pelo menos 24 satélites, com um raio orbital igual a 26000 km, que funcionam como posições de referência a partir das quais se determina a posição de uma antena receptora.

A observável básica do GPS é a pseudo-distância, que resulta da medição do intervalo de tempo que o sinal GPS demora a percorrer o trajecto entre um satélite e um receptor. Cada satélite transmite sinais em duas frequências para serviço de posicionamento: 1575.42 MHz e 1227.60 MHz. Cada portadora contém a informação modulada que permite ao receptor calcular a posição do satélite e determinar a pseudo-distância.

Os primeiros ensaios indicaram que as características do GPS poderiam pôr em causa a política de defesa dos EUA. Assim, os utilizadores não autorizados pelos EUA, os utilizadores civis, apenas têm acesso a parte do serviço fornecido pelo GPS, designado por Standard Positioning Service (SPS). O SPS tem uma exactidão igual a 100m (para um nível de confiança igual a 95%) para o posicionamento horizontal e uma vez e meia pior para o posicionamento a três dimensões.

Pelas suas características, das quais se destacam a cobertura mundial H24, a exactidão e o baixo custo dos receptores, assistiu-se na última década a uma proliferação de receptores GPS para navegação. Esta expansão do GPS deu origem ao cancelamento de sistemas de posicionamento global então existentes, como o TRANSIT e o OMEGA, e ao aparecimento de novas técnicas de posicionamento com aplicações inovadoras em diversas áreas.

O aparecimento do GPS provocou uma revolução nos métodos de posicionamento utilizados em hidrografia. O DGPS e GPS OTF são métodos de posicionamento relativo utilizados em hidrografia e outras aplicações que melhoram significativamente a exactidão e verificação da integridade do posicionamento fornecido pelo GPS em modo absoluto.

#### **3.1.1 GPS Diferencial (DGPS)**

O GPS Diferencial (DGPS) necessita de um receptor instalado numa estação de referência cuja antena está colocada num ponto de coordenadas conhecidas. A estação de referência estima os erros para as observáveis GPS de todos os satélites visíveis. Estes erros são transmitidos, como correcções diferenciais, via rádio. A estação móvel, instalada na plataforma de sondagem, recebe as correcções diferenciais, por forma a corrigir as suas observáveis GPS (figura 3). Em princípio, não existem limitações no número de utilizadores deste sistema de posicionamento.

A exactidão do DGPS depende, entre outros factores, da distância entre a estação de referência e a estação móvel. Para curtas distâncias (até 20 km), a exactidão prevista e comprovada em diversos ensaios descritos na literatura especializada é de 1 m (para um nível de exactidão igual a 95%). Para distâncias da ordem dos 200 km, a exactidão prevista é cerca de 10 m (para um nível de exactidão igual a 95%).

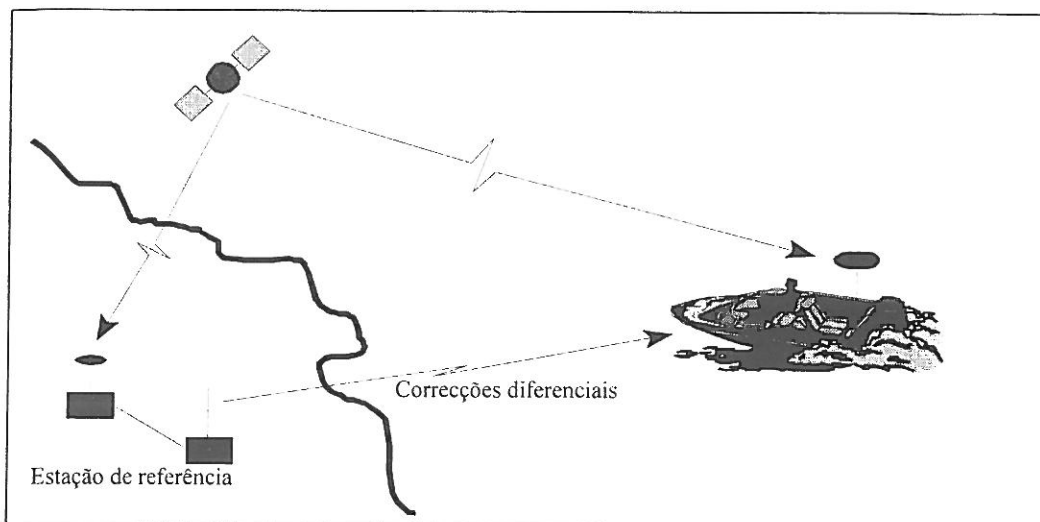


Figura 3 – GPS Diferencial.

Actualmente o IHPT dispõe de sistemas DGPS que podem ser utilizados para posicionamento horizontal em levantamentos hidrográficos de qualquer ordem. A transmissão das correcções diferenciais é efectuada com recurso a rádio/modems, especialmente concebidos para a transmissão de correcções diferenciais. Para levantamentos costeiros e portuários, são usados rádio/modems em UHF e VHF. Para áreas mais afastadas da costa são utilizados rádio/modems em HF.

O DGPS tem vantagens relativamente a outros sistemas de posicionamento mais antigos. Por exemplo, o preço de aquisição do Syledis é 30 vezes superior ao de um sistema DGPS completo, com a vantagem de o GPS ser de montagem e transporte fáceis. O DGPS apenas necessita de uma estação de referência, não sendo necessário garantir a inter-visibilidade entre as estações, mas apenas manter um canal de comunicação via rádio.

Como qualquer sistema de posicionamento por satélite, o DGPS, depende da visibilidade das antenas GPS para o céu, assim como da possibilidade de utilização dos satélites, os quais são mantidos e controlados por uma potência estrangeira. Deste modo, o DGPS não pode ser utilizado em zonas de pouca visibilidade para o céu, e depende da integridade da informação fornecida pelos satélites.

### 3.1.2 GPS OTF

O GPS OTF resulta de um desenvolvimento do final dos anos oitenta, em que a fase da portadora do sinal GPS começou a ser explorada como forma de determinar a posição relativa entre duas antenas. Existem receptores GPS que permitem medir a fase da portadora do sinal GPS com uma exactidão igual a cerca 1% do comprimento de onda, o que tendo em conta outras fontes de erros potenciais equivale a uma exactidão igual a 5 mm, em distância linear.

A equação de observação da fase da portadora contém um termo que resulta da ambiguidade da portadora, isto é, o número inteiro de ciclos entre o receptor e o satélite desde que o sinal é transmitido até ser recebido (figura 4). Só é possível resolver este termo em posicionamento relativo e com observações redundantes, utilizando métodos matemáticos. Assim, para resolver a ambiguidade, são necessários pelo menos cinco satélites visíveis.

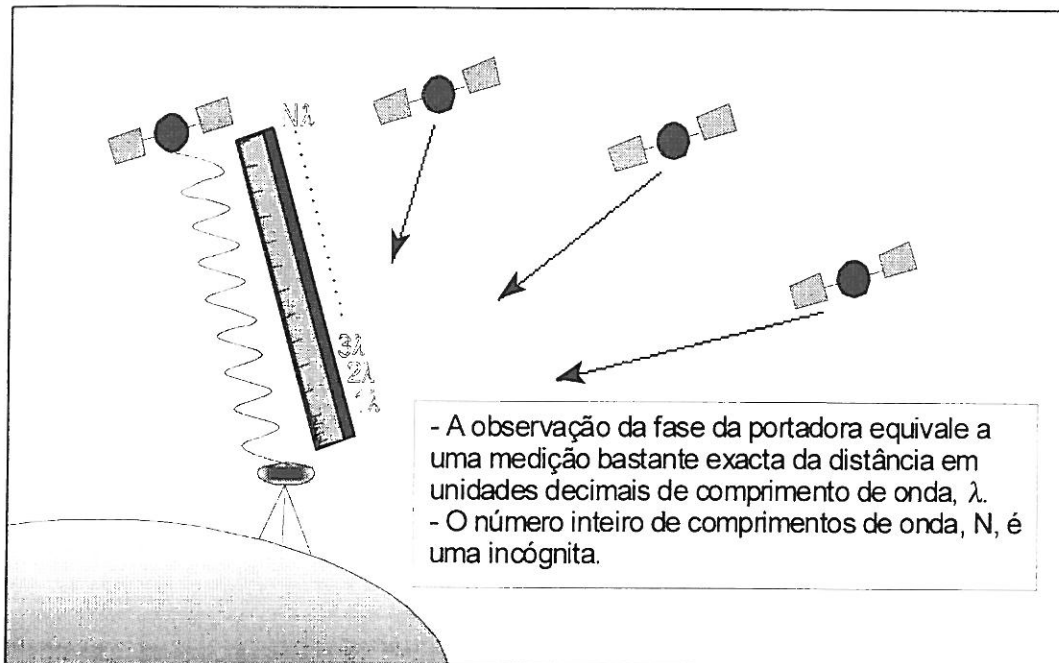


Figura 4 – A observação da fase da portadora do sinal.

A abreviatura GPS OTF resulta da expressão inglesa "On-The-Fly", que significa resolver a ambiguidade enquanto uma antena se move em relação à outra. Os algoritmos desenvolvidos inicialmente para resolver a ambiguidade apenas permitiam a sua utilização em posicionamento estático, para aplicação em geodesia e topografia. Com o desenvolvimento dos receptores GPS e da capacidade de processamento dos computadores, passou a ser possível utilizar a medição da fase do sinal da portadora para posicionamento dinâmico em tempo real. A estação de referência transmite as observações brutas para a estação móvel, onde todas as observações são processadas por um algoritmo apropriado. Normalmente, a comunicação entre as duas estações é estabelecida via rádio/modem em UHF ou VHF. O alcance máximo é cerca de 20 km devido a limitações em resolver a ambiguidade para distâncias maiores. A exactidão do posicionamento a três dimensões é da ordem de alguns centímetros. Ensaios efectuados, no IHPT, posicionando uma antena móvel num ponto de coordenadas conhecidas indicaram diferenças inferiores a 0.02 m (desvio padrão) sendo a diferença máxima inferior a 0.06 m, conforme representado na figura 5.

Foram também efectuados ensaios dinâmicos em que a antena da estação móvel foi transportada ao longo de uma trajectória pré-determinada. A trajectória escolhida correspondeu ao "H" de um parque de aterragem de helicópteros. As posições foram recolhidas enquanto um operador transportava a antena num bastão tentando seguir os contornos do "H". As posições foram obtidas em tempo real, utilizando um rádio/modem UHF, tendo sido gravadas a intervalos de um segundo no receptor da estação móvel. O resultado destes ensaios está representado na figura 6.

Os ensaios em trajectória definida indicam um bom desempenho do GPS OTF, por análise visual da Figura 6. No parque de aterragem foi coordenado um ponto por GPS (Taco BH1 2/95) em modo estático que serviu para verificar o GPS OTF no início e no final da execução do ensaio. As diferenças obtidas foram inferiores a 0.05 m.

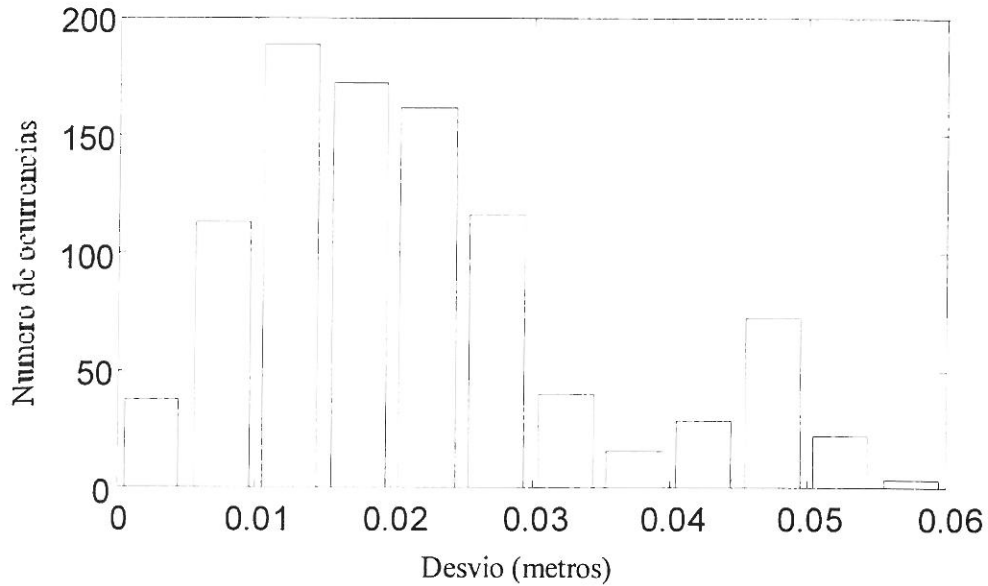


Figura 5 – Histograma de frequência das diferenças da comparação da posição a três dimensões obtida por GPS OTF em tempo real, com uma posição de coordenadas conhecidas.

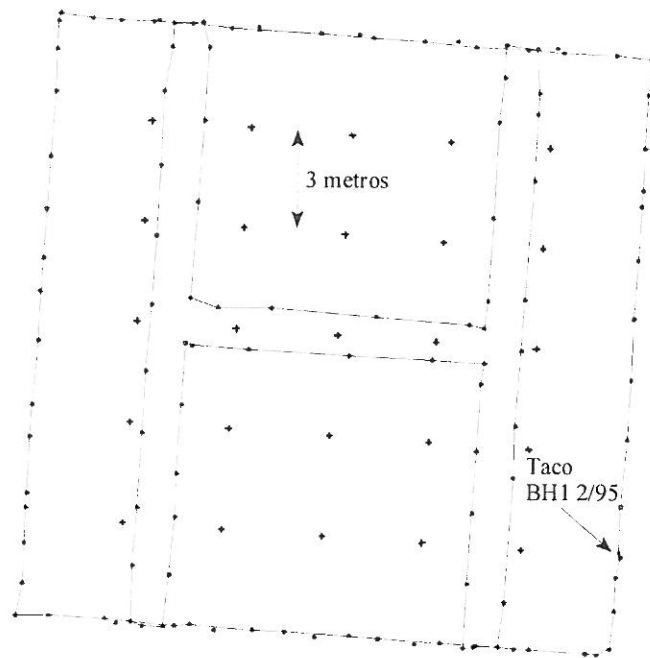


Figura 6 – Ensaio dinâmico em trajetória definida.

### 3.1.3 O Impacto do GPS

O desenvolvimento das técnicas de posicionamento por GPS, nomeadamente o DGPS e o GPS OTF tiveram um profundo impacto nas seguintes actividades da hidrografia:



- Coordenação de pontos de apoio hidrográfico;
- Controlo horizontal de levantamentos hidrográficos;
- Controlo vertical de levantamentos hidrográficos;
- Execução de levantamentos topográficos.

Actualmente, receptores especialmente concebidos para fins geodésicos permitem efectuar a coordenação de pontos hidrográficos, através de observações GPS em modo estático. Para o efeito são efectuadas observações simultâneas num ponto de coordenadas conhecidas (por exemplo, da rede geodésica nacional) e noutro ponto que se pretende coordenar. As observações são gravadas em cada um dos receptores sendo processadas posteriormente, em gabinete. Não é necessário que exista inter-visibilidade entre as estações nem condições atmosféricas favoráveis. Apenas com uma hora de observação é possível obter uma exactidão da ordem de centímetros ou melhor.

Quando avaliado segundo os critérios de desempenho mencionados em 3., o DGPS tem o melhor desempenho global e em quase todos os critérios. Relativamente à exactidão, o DGPS, pode ser utilizado para o controlo horizontal de levantamentos de qualquer ordem.

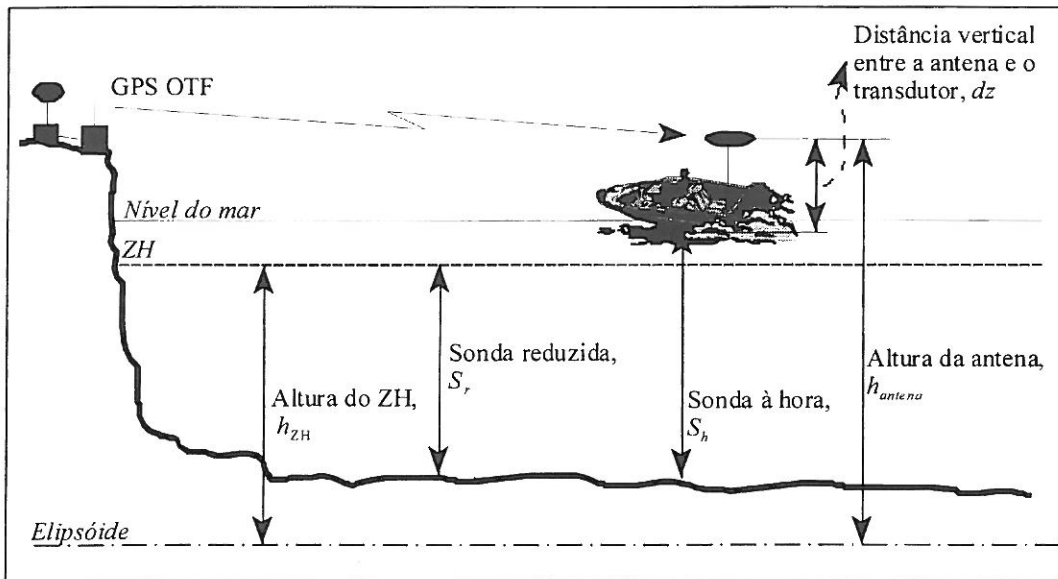


Figura 7 – Controlo vertical de levantamentos hidrográficos com GPS OTF.

O GPS OTF permite determinar a altura elipsoidal da antena da estação móvel com uma exactidão de alguns centímetros. Esta característica pode ser utilizada para efectuar o controlo vertical de levantamentos hidrográficos, isto é, determinar a sonda reduzida em tempo real (figura 7). Previamente à execução de um levantamento hidrográfico, é necessário determinar um modelo espacial das alturas do ZH. relativamente ao elipsóide utilizado pelo GPS, o WGS84. Este modelo é determinado com observações de GPS em modo estático, colocando a antena em pontos cotados existentes em redor da área do levantamento. A sonda reduzida é calculada pela seguinte equação:

$$S_r = S_h - (h_{antena} - h_{ZH} - dz)$$

Com este método deixa de ser necessário efectuar leituras de maré, com vantagens em economia de meios e pessoal, ao mesmo tempo que a redução das sondas ao ZH. é efectuada no local, através de um modelo espacial que estabelece

as diferenças entre o ZH. e o elipsóide de referência. Este método ainda se encontra em fase de desenvolvimento, nomeadamente por necessitar de um sensor de movimentos que permita determinar a distância vertical entre a antena e o transdutor, em condições de balanço da plataforma de sondagem.

O GPS OTF tem vindo a ser utilizado pelo IHPT, na execução de levantamentos topográficos para actualização da informação cartográfica. Quando não é necessário seguir perfis pré-determinados, os dados de campo são gravados para posterior processamento em gabinete. Noutras situações, é necessário seguir perfis bem definidos, sendo garantido posicionamento em tempo real, com indicação do afastamento ao perfil, para guiamento do operador. Previamente ao levantamento topográfico propriamente dito, é necessário efectuar uma calibração do sistema, de modo a calcular os parâmetros de transformação locais entre o sistema de coordenadas WGS 84 e o sistema de coordenadas locais.

#### **4. Sistemas de Sondagem**

Os métodos e equipamentos a utilizar para a medição de profundidades são função da ordem do levantamento (exactidão e profundidade média) e da obrigatoriedade da cobertura total do fundo. Isto pode ser assegurado através da medição de profundidades correspondentes a áreas insonificadas ou assinaturas acústicas que cobrem a totalidade do fundo, ou através de sistemas de varrimento que garantam que não existem obstruções significativas entre as profundidades medidas. Assim, podem ser definidos quatro tipos de levantamentos em função dos métodos e dos equipamentos utilizados:

- I. Levantamento com medição de profundidades correspondentes a áreas insonificadas que cobrem a totalidade do fundo;
- II. Levantamento com medição contínua de profundidades ao longo de fiadas, complementado com um sistema de varrimento (por exemplo, sonar lateral);
- III. Levantamento com medição contínua de profundidades ao longo de fiadas;
- IV. Levantamento com medição de profundidades em posições discretas.

##### **4.1 Medição de Profundidade e de Detecção de Obstruções**

Nesta secção são descritos os sistemas de sondagem, disponíveis no IHPT para a execução dos diferentes tipos de levantamentos hidrográficos, principais características e princípios de funcionamento.

###### **4.1.1 Sondador Acústico de Feixe Simples**

Os sondadores acústicos de feixe simples, são os meios tradicionais utilizados na execução de levantamentos hidrográficos.

Estes sondadores efectuem medição contínua de profundidades - perfis. A superfície coberta por este equipamento é uma função da abertura angular do feixe acústico (normalmente os sondadores acústicos apresentam aberturas de feixe entre 6° e 14°).

O princípio de funcionamento consiste, genericamente, na medição do intervalo de tempo entre a transmissão de um impulso acústico e a sua detecção após reflexão no fundo.

Para o cálculo da profundidade é necessário o conhecimento da velocidade de propagação do som na água. Esta medição pode ser efectuada com recurso a um velocímetro que permite determinar o perfil de velocidade de propagação do som ao

longo da coluna de água, ou através de um transdutor de calibração, constituído por um transdutor e um disco reflector separados de uma distância fixa. Conhecendo a velocidade média para uma determinada profundidade ou ajustada a velocidade para uma profundidade média, a profundidade é obtida através de:

$$d = c_m \cdot \frac{\Delta t}{2},$$

onde  $d$  é a aprofundidade,  $c_m$  a velocidade média de propagação do som na água e  $\Delta t$  o intervalo de tempo do duplo trajecto do impulso acústico entre o transdutor e o fundo.

O registo da profundidade destes sondadores pode ser digital ou analógico.

Para a correcção do efeito da ondulação, pode ser aplicado um sensor de ondulação, sensor para determinação da proa, e opcionalmente, um sensor para a determinação dos balanços longitudinais e transversais da embarcação.

#### 4.1.2 Sondador Acústico Multifeixe

O sondador acústico multifeixe é o sistema mais recente utilizado no IHPT para a execução de levantamentos hidrográficos.

Este tipo de sondadores efectua a medição de profundidades ao longo de faixas. A largura da faixa sondada coberta por este equipamento é também função da abertura angular do feixe transmitido no sentido transversal à proa da embarcação. No caso do sistema do IHPT, a abertura máxima é de  $150^\circ$ , i.e., equivalente a 7.5 vezes a profundidade média. Apesar da elevada cobertura alcançada pelo sistema, a faixa útil a utilizar para levantamentos hidrográficos, não deve ser superior a um total de  $120^\circ$ , ou seja 3.5 vezes a faixa sondada [Artilheiro et al., 1999].

O princípio de funcionamento deste sistema [Artilheiro, 1996] consiste, genericamente, na transmissão de um impulso acústico com grande abertura transversal e pequena abertura longitudinal ( $\phi_y$ ), durante a recepção são electronicamente formados feixes com pequena abertura transversal ( $\phi_x$ ) e grande abertura longitudinal, 60 feixes (para o sistema em estudo) com um espaçamento angular entre si de  $2.5^\circ$  [Simrad, 1995]. A área insonificada é o resultado da intersecção entre o feixe transmitido e o feixe formado durante a recepção (Figura 8).

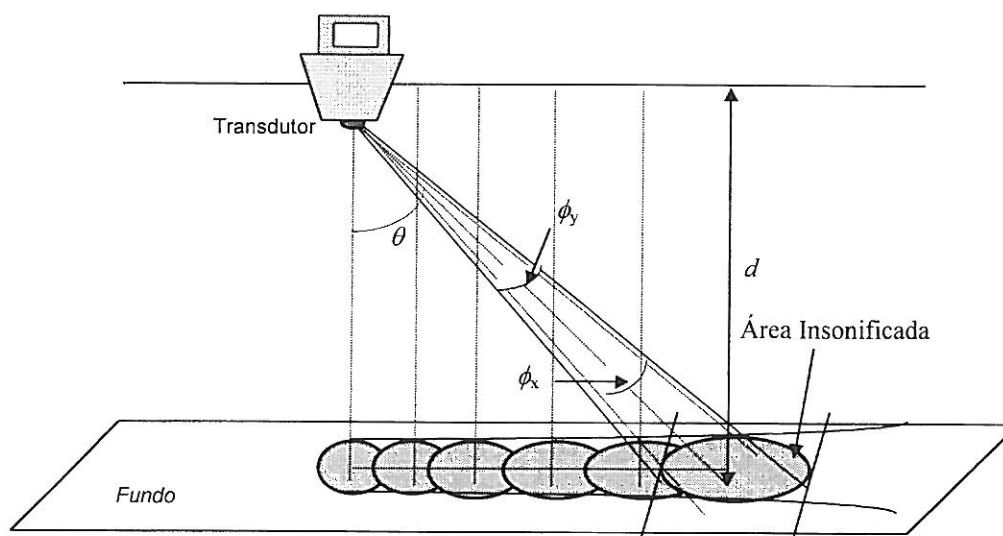


Figura 8 – Áreas insonificadas correspondentes a um feixe de transmissão e vários feixes formados durante a recepção.

A medição do intervalo de tempo entre a transmissão do impulso acústico e a sua detecção após reflexão no fundo para cada um dos 60 feixes, é efectuada através de algoritmos específicos. Estes algoritmos têm em conta o número de amostras do sinal após conversão do sinal de analógico para digital e a forma do sinal [de Moustier, 1988].

Para o cálculo da profundidade, para cada feixe, é necessário o conhecimento da velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água. A velocidade média que é suficiente para o cálculo da profundidade do feixe vertical, no caso do sondador de feixe simples, é insuficiente no caso do sondador multifeixe. Para o cálculo da profundidade dos feixes oblíquos é necessário o conhecimento, com elevada exactidão, do perfil de velocidade de propagação do som na água. Esta medição é efectuada com recurso a um velocímetro. Conhecendo a velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água é efectuado o cálculo do trajecto do impulso (*ray tracing*) acústico [Clay e Medwin, 1977] segundo os vários ângulos de incidência (ângulo relativo à vertical do transdutor,  $\theta$ ) como função do ângulo de incidência e do tempo do trajecto do sinal, obtendo como resultados a profundidade e a distância transversal de localização da sonda.

O sistema sondador multifeixe inclui obrigatoriamente um sensor de movimentos de elevada exactidão com determinação da ondulação, dos balanços transversais e longitudinais, com incertezas nas medições inferiores a 10 cm e 0.2° em 95% dos casos. É também obrigatória a existência de um sensor para determinação da proa, com elevada exactidão, sendo recomendável uma exactidão superior a 2° a 95% de nível de confiança. Actualmente o sensor de medição da proa (Seapath 200) baseia-se em duas antenas GPS orientadas longitudinalmente na embarcação de sondagem [Marreiros, 1997], cuja incerteza na medição é de 0.2° a 95% de nível de confiança.

A Figura 9 apresenta a estimativa dos erros de medição da profundidade do sondador multifeixe do IHPT. Estes erros são apresentados em função da profundidade e do ângulo de incidência do feixe. São igualmente apresentadas as curvas correspondentes à exactidão definida na S-44, para os levantamentos hidrográficos de Ordem Especial e Ordem 1.

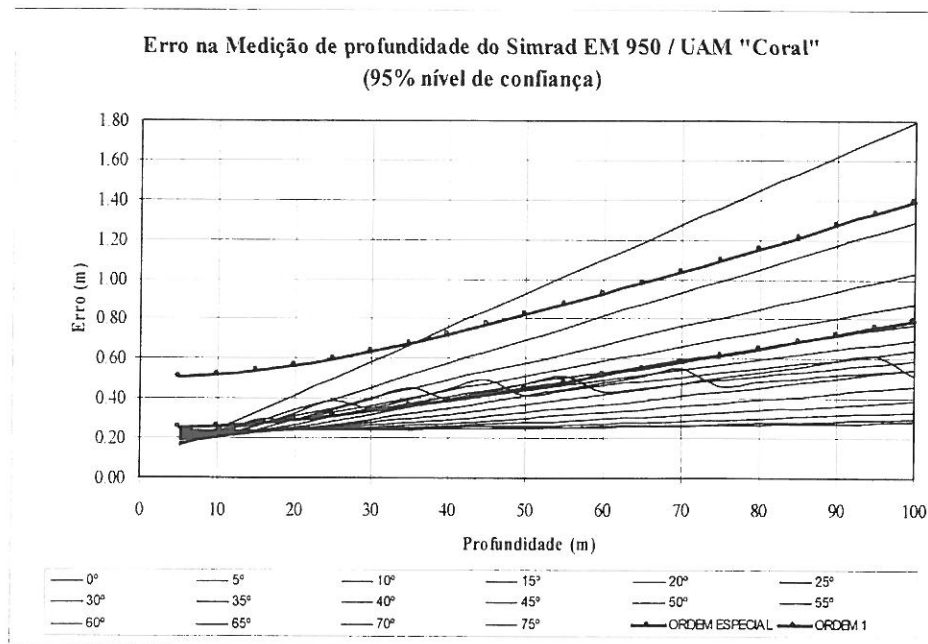


Figura 9 – Estimativa do erro, 95% de nível de confiança, da profundidade SMF reduzida, função da profundidade e do ângulo de incidência do feixe.

O registo da profundidade destes sondadores é unicamente digital.

Concomitantemente à informação de sondagem é possível a aquisição de dados de reflectividade que após adequado processamento permitem gerar uma imagem acústica do fundo. A informação mais relevante desta imagem é a possibilidade de identificação de diferentes tipos de sedimentos e de obstruções.

#### 4.1.3 Sonar Lateral

O sonar lateral é um equipamento utilizado como complemento à informação de sondagem.

Este equipamento efectua um registo de intensidade do sinal acústico, retroreflectividade. Esta imagem apresenta uma elevada resolução, no entanto, o posicionamento da informação da retroreflectividade não se encontra geometricamente corrigido. Ao contrário a imagem sonar com dados adquiridos com o sondador multifeixe, embora de menor resolução é uma imagem geometricamente correcta.

O sonar lateral é utilizado para a detecção de obstruções entre fiadas quando é requerida a cobertura total do fundo, ou seja a busca de obstruções, apenas para a sua localização, sendo a medição de profundidade efectuada por um sondador acústico.

#### 4.2 Comparação dos Sondadores Feixe Simples e Multifeixe

No que concerne à cobertura dos dois sondadores, o sondador multifeixe permite efectuar a cobertura total do fundo desde que seja garantida a sobreposição entre faixas adjacentes. Numa sondagem com sondador de feixe simples, não é, do ponto de vista prático, exequível uma sondagem com cobertura total do fundo. Por exemplo, considerando um levantamento numa profundidade média de 20 metros obtêm-se as coberturas apresentadas na Figura 10. Admitindo a abertura do feixe simples de  $8^\circ$ , o feixe simples cobre efectivamente uma faixa com cerca de 3 m de largura. No levantamento com o sondador multifeixe existe grande probabilidade de detecção de sondas mínimas e de obstruções de interesse para a segurança da navegação.

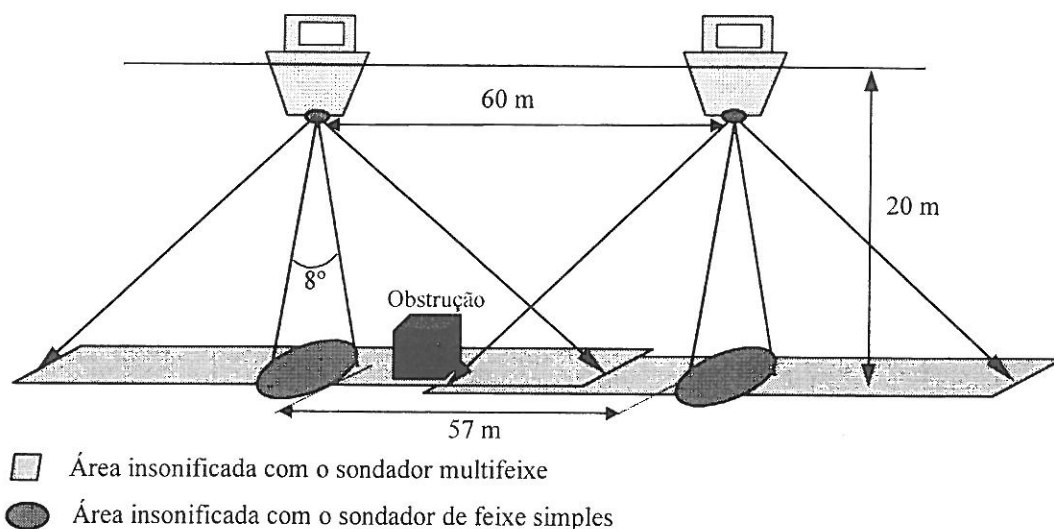


Figura 10 – Comparação da cobertura com o sondador feixe simples e com o sondador multifeixe.

## 5. Aquisição de Dados

Além do sistema de sondagem, é necessário um sistema de aquisição de dados. Este sistema deve ter as seguintes capacidades: gravação dos dados de sondagem; informação do posicionamento da embarcação relativa ao planeamento e informação das profundidades medidas. Para este efeito são utilizadas as seguintes aplicações informáticas:

- HIDROPOS, aplicação desenvolvida no IHPT, utilizada em levantamentos com sondador de feixe simples, permite efectuar o planeamento das fiadas e fornece informação para condução da embarcação. Esta aplicação efectua apenas gravação dos dados de posicionamento. Os dados de profundidade são registados em papel;

- HYPACK, aplicação desenvolvida pela Coastal Oceanographics [1998], utilizada em levantamentos com sondador de feixe simples, permite efectuar o planeamento das fiadas, fornece informação para condução da navegação, visualização dos dados adquiridos para controlo da aquisição, interface de comunicação com sensor de atitude e proa. Esta aplicação efectua gravação dos dados de posicionamento, profundidade, atitude e proa.

- MERMAID / MERLIN, aplicações desenvolvidas por Kongsberg Simrad AS, utilizada em levantamentos com sondador multifeixe, fornece informação para condução da navegação, visualização dos dados adquiridos para controlo da aquisição. Estas aplicações efectua a gravação dos dados de posicionamento, profundidade, atitude, proa e perfil de velocidade de propagação do som na água, enviados pelo sondador multifeixe.

## 6. Processamento de Dados

Para o processamento de dados hidrográficos, são utilizadas as seguintes aplicações informáticas:

- HIDRO, aplicação desenvolvida no IHPT, utilizada para o processamento de dados hidrográficos de levantamentos com sondador de feixe simples. Esta aplicação é utilizada quando os dados de profundidade se encontram em registo analógico e os dados de posicionamento foram registados manualmente ou gravados pelo HIDROPOS;

- HYPACK, para além da sua utilização na aquisição de dados, esta aplicação contém um conjunto de módulos para o processamento de dados, permitindo o processamento de dados adquiridos com sondador de feixe simples.

- HIPS, aplicação desenvolvida pela Universal Systems Ltd. [1998], permite o processamento de dados adquiridos com sondador multifeixe e feixe simples. Esta aplicação dispõe de capacidade de limpeza de dados, quer manual, quer automática através de algoritmos de classificação das sondas;

- SIPS, aplicação desenvolvida pela Universal Systems Ltd. [1994], permite o processamento de dados de reflectividade adquiridos com sondador multifeixe. Esta aplicação é utilizada para a produção da imagem acústica.

## 7. Apresentação da Informação Hidrográfica

A informação hidrográfica pode ser apresentada em várias formas, por exemplo:

- informação de sondagem com isobatimétricas, constituindo a forma tradicional de apresentação da informação hidrográfica;

- modelos digitais de terreno (MDT): estes modelos podem ser apresentados com iluminação por uma fonte sintética por forma a salientar determinados aspectos do relevo submarino. Os MDT são utilizados para o cálculo de volumes, por exemplo para cálculo do volume de dragados.

Ao nível da produção cartográfica, destaca-se a cartografia em papel, produzida quer pelos métodos tradicionais quer com recurso e assistência de computadores (cartografia assistida por computador). A cartografia assistida por computador utiliza o sistema CARIS da Universal Systems Ltd.

A informação hidrográfica, depois de validada, é importada pelo sistema CARIS onde é tratada com vista à produção da carta náutica oficial (CNO), ver Figura 11. Esta informação é utilizada, posteriormente, para a produção da carta electrónica de navegação oficial.



Figura 11 – Extracto da CNO 26308 (Porto de Setúbal) com sobreposição da informação do levantamento hidrográfico com sondador multifeixe.

## 8. Considerações Finais

O aparecimento do GPS veio revolucionar as técnicas de posicionamento utilizadas em hidrografia, ao mesmo tempo que se desenvolveram novas aplicações. Actualmente, a tarefa de determinar a posição de uma plataforma hidrográfica requer menos esforço em meios humanos e materiais, à custa de equipamentos tecnologicamente avançados e algoritmos cada vez mais complexos.

Não há soluções absolutas. O GPS apresenta uma relação custos/benefícios bastante favorável, mas existem algumas desvantagens que convém sublinhar:

- O seu funcionamento é controlado por uma potência estrangeira,
- Depende da visibilidade para os satélites,
- Requer formação especializada dos utilizadores.

A par destes desenvolvimentos tecnológicos, ainda existe campo de aplicação para os métodos de posicionamento tradicionais. A operacionalidade dos sistemas de posicionamento por satélite, pela sua importância estratégica, poderá ser reduzida ou anulada numa situação de crise global. Mesmo em condições normais, poderá ocorrer que as condições de visibilidade não permitam a utilização de sistemas de posicionamento por satélite.

Estão a ser desenvolvidos novos sistemas de posicionamento por satélite equivalentes ao GPS, por exemplo o GNSS (Global Navigation Satellite System), que irão complementar o GPS, aumentando o número de satélites visíveis e reduzir a dependência relativamente aos EUA.

A evolução dos meios para a medição de profundidades deve-se, fundamentalmente, aos desenvolvimentos da informática, do software e da tecnologia electrónica. A aplicação dos sondadores multifeixe para fins hidrográficos, é ainda uma novidade para a grande maioria dos serviços hidrográficos.

A reduzida aplicação dos sondadores multifeixe deve-se aos seguintes factores:

- erros na medição da profundidade devido à refacção;
- erros de medição da atitude da plataforma de sondagem devido à não imunidade dos sensores inerciais às acelerações horizontais (problema já resolvido com a integração de informação DGPS para referência vertical e de algoritmos que permitem compensar os efeitos das acelerações horizontais);
- erros na medição da ondulação, em situações de ondas de muito longo período.

Pese embora os factores limitativos supramencionados, os dados adquiridos com sondador multifeixe já foram utilizados para actualização das cartas náuticas oficiais e está provado que o sistema do IHPT pode ser utilizado para levantamentos hidrográficos de Ordem 1. No entanto, devem ser tomados os cuidados necessários durante a aquisição de dados, e seguir-se criteriosamente a metodologia de processamento e as normas para controlo de qualidade.

O sondador multifeixe constitui um avanço notável para a hidrografia, pois permite uma cobertura total do fundo submarino com o conseqüente aumento de confiança da informação apresentada na carta náutica oficial.

Os desenvolvimentos resumidamente descritos neste artigo têm tido aplicação no IHPT, como um investimento nas novas tecnologias. Ao mesmo tempo em que se aposta nestes recentes desenvolvimentos, deve-se manter a formação e manutenção dos sistemas de posicionamento e de sondagem clássicos. Este é um aspecto que não pode ser desprezado, pois o IHPT é responsável pela informação cartográfica náutica nacional, a qual necessita de ser constantemente actualizada.



## Bibliografia

- Artilheiro, F. (1996). *Analysis and Procedures of Multibeam Data Cleaning for Bathymetric Charting*. MEng. Report, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, NB, Canada.
- Artilheiro, F., P. Sanches e F. Pimentel (1999). "Overview of the Multibeam Hydrographic Surveying Project at the Portuguese Hydrographic Office for Nautical Chart Update." *Proceedings of FEMME '99*, Forum of Simrad Multibeam Echosounders Users, Oslo.
- Clay, C. e H. Medwin (1977). *Acoustical Oceanography*. John Willey and Sons, Inc.
- De Moustier C. (1988). "State of the Art in Swath Bathymetry Survey Systems." *International Hydrographic Review*, LXV(2), P. 25.
- IHO (1998). *IHO Standards for Hydrographic Surveys*. Special Publication N°44, 4<sup>th</sup> Edition, International Hydrographic Bureau, Monaco.
- Marreiros, J. (1997). *Performance Analysis of GPS Attitude Determination in a Hydrographic Survey Launch*. MEng. Report, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, NB, Canada.
- Simrad Norge AS, (1995). *EM 1000 Operator Manual*. Horten, Norway.
- Universal Systems Ltd. (1994). *CARIS HIPS: Sonar Image Processing System*. Fredericton, New Brunswick, Canada.
- Universal Systems Ltd. (1998). *CARIS HIPS: Hydrographic Information Processing System*. Fredericton, New Brunswick, Canada.

