



Apoio Hidrográfico no Porto de Sines

Paulo Marreiros
Antunes Fernandes
Joaquim Vieira

Instituto Hidrográfico – Portugal
Marinha – Ministério da Defesa Nacional

Resumo

Desde 1972 que o Instituto Hidrográfico mantém protocolos regulares com a autoridade responsável pela construção e administração do Porto de Sines no domínio da investigação científica e tecnológica, e da vigilância e controlo de obras marítimas e portuárias.

Com o presente artigo pretende-se dar a conhecer o modo como têm vindo a ser efectuados os trabalhos hidrográficos, bem como a sua evolução quer ao nível dos equipamentos quer ao nível da metodologia.

Apoio Hidrográfico no Porto de Sines

Paulo Marreiros
Antunes Fernandes
Joaquim Vieira

Instituto Hidrográfico – Portugal
Marinha – Ministério da Defesa Nacional

1. Introdução

Os levantamentos hidrográficos na área de Sines começaram a ser efectuados pelo Instituto Hidrográfico (IH) em 1972, com o objectivo de planejar a construção de um terminal petrolífero. Desde então foram efectuados numerosos trabalhos, à medida das necessidades de informação sobre as estruturas e áreas portuárias, da autoridade responsável pelo planeamento, construção e monitorização de obras.

Durante os levantamentos hidrográficos foram ensaiados novos sistemas e equipamentos no sentido de dar resposta aos problemas apresentados pela entidade contratante, melhorando a qualidade e a apresentação dos produtos finais. Em algumas situações foram utilizadas soluções expeditas e inovadoras.

Os trabalhos realizados em Sines representam o esforço de actualização e desenvolvimento que caracteriza a história recente da hidrografia em Portugal. Foi durante o acompanhamento das obras do porto que se aplicaram novos métodos de processamento e se introduziram novos sistemas de posicionamento e sondadores acústicos.

2. Necessidade de levantamentos hidrográficos

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 da engenharia costeira e portuária a informação hidrográfica destina-se aos seguintes projectos:

- Planeamento de obras,
- Monitorização de obras,
- Monitorização de variações estruturais após conclusão das obras,
- Monitorização do transporte de sedimentos.

Existem diversos motivos pelos quais as autoridades portuárias devem manter a cartografia dos portos actualizada, nomeadamente a morfologia do fundo do mar nos locais de passagem de navios: sobretudo nas barras, canais, cais de atracação, etc. Os motivos mais importantes são os seguintes:

- Reduzir a possibilidade de um navio encalhar, mantendo a informação das profundidades actualizada. Obviamente os portos mais seguros são os mais atraentes do ponto de vista comercial.
- Através da actualização frequente da informação das profundidades e do tipo de fundo, é possível reduzir os níveis de segurança (por exemplo, pé de piloto), o que permite que navios de maior porte e maior calado pratiquem o porto.

- Os canais e as bacias de tráfego portuário devem ser inspeccionados periodicamente, de forma a detectar objectos de carga perdida deixados no fundo que possam afectar a segurança da navegação.
- A inspecção periódica do fundo do mar e de estruturas portuárias submersas através de levantamentos hidrográficos permite racionalizar a contratação de dragagens e a reparação/manutenção de molhes e outras estruturas portuárias, o que poderá originar uma redução de custos.

3. Trabalhos executados

Os trabalhos realizados em Sines podem ser divididos em três fases:

- Numa primeira fase os levantamentos hidrográficos tiveram como objectivo efectuar um estudo detalhado da morfologia do fundo do mar no local onde estava planeado implantar as estruturas portuárias.
- Numa segunda fase foram executados levantamentos hidrográficos e topográficos para acompanhamento da execução das obras.
- Numa terceira fase, depois de concluídas as obras, os levantamentos hidrográficos tiveram por objectivo monitorizar a evolução das estruturas implantadas e áreas adjacentes ao nível dos assentamentos, deslocamentos horizontais e verticais, evolução da morfologia e transporte de sedimentos, bem como possibilitar a edição de carta de navegação local.

3.1. Apoio geodésico

Previamente à execução dos levantamentos hidrográficos é necessário construir uma rede de pontos de apoio em terra, devidamente perenizada para instalação de estações de posicionamento de embarcações de sondagem e realização de trabalhos de topografia.

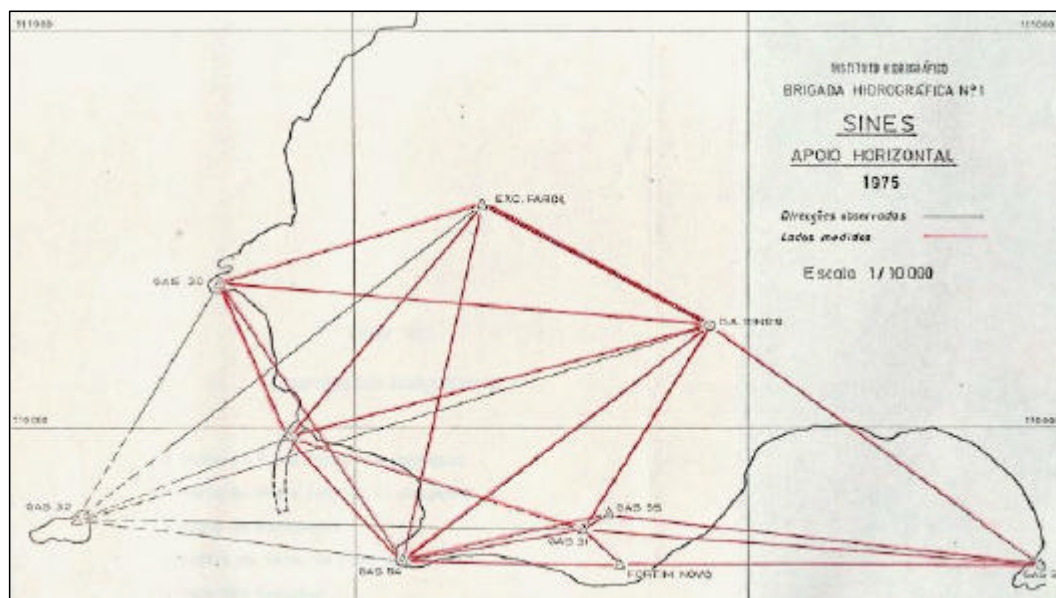


Figura 1 – Rede local de apoio ao levantamento hidrográfico, em 1975 [IH, 1975].

Durante a construção do terminal petrolífero do Porto de Sines, em 1975, foi observada uma rede local a partir de marcos geodésicos do Instituto Português de Cartografia e Cadastro (IPCC), existentes na área. Esta rede incluiu cerca de 200 pontos de apoio para os trabalhos de hidrografia e topografia que tiveram lugar durante o

período de 1975 a 1982, nas diversas fases da construção do referido terminal [Fernandes, 1984].

Quando, em 1984, começaram os trabalhos tendo em vista a construção do terminal de carvão, optou-se por observar uma nova rede local. Esta rede iria ter por referência os valores revistos em 1977 dos marcos geodésicos do IPCC. Assim, em Sines passaram a existir duas redes locais distintas, uma na zona oeste para apoio ao terminal petrolífero baseada nos valores não revistos das coordenadas dos marcos geodésicos e outra na zona leste para apoio ao terminal de carvão, baseada nos valores revistos das coordenadas dos marcos geodésicos. As diferenças entre estas duas redes locais, medidas por observação em pontos comuns, são inferiores a dez centímetros [Fernandes, 1984].

Em 1999 foi efectuada uma campanha de observações utilizando receptores GPS do tipo geodésico em modo estático, tendo em vista uniformizar a rede local e calcular parâmetros de transformação locais que permitissem executar trabalhos de topografia com GPS.

Como preparação para a execução dos levantamentos foi necessário efectuar nivelamentos geométricos em marcas próximas da linha de água a fim de efectuar a leitura de marés e instalar marégrafos.

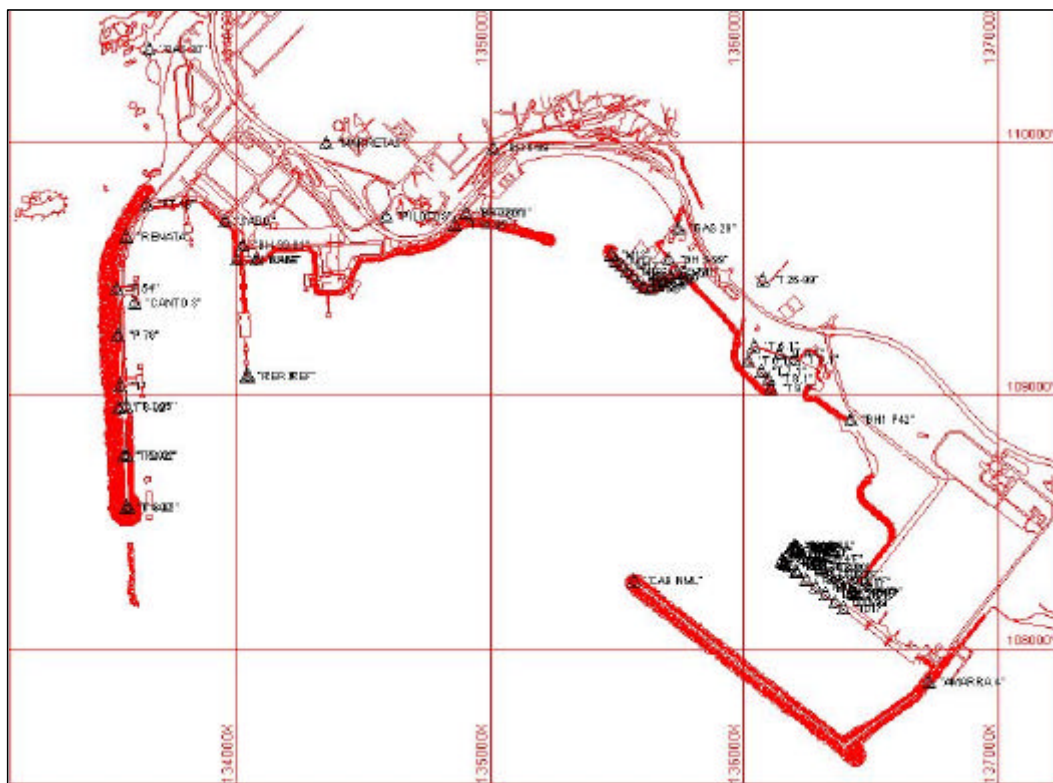


Figura 2 – Rede local observada em Sines com GPS geodésico em 1999. Na figura também estão incluídos os pontos de monitorização das estruturas portuárias.

3.2. Planeamento de obras

Os primeiros levantamentos hidrográficos tiveram por objectivo recolher informação da morfologia do fundo do mar, de forma a permitir elaborar o projecto das obras, calcular volumes de aterro e volumes de dragagens. Consoante a densidade de informação necessária, foram efectuados levantamentos hidrográficos que permitiram produzir implantações gráficas às escalas 1:2000, 1:1000 e 1:500, com adensamentos em zonas rochosas.

A título de exemplo refere-se que durante o levantamento hidrográfico para a definição da situação zero na área de construção do terminal do carvão, efectuado em 1984 foi sondada uma área de 1km². No total foram produzidas 10 implantações gráficas à escala 1:500, com 120 000 sondas, ou seja 1 sonda por cada 8 m² [Fernandes, 1987].

3.3. Monitorização de obras

A partir da situação zero foram executados levantamentos hidrográficos para controlo dos aterros por camadas de diversos tipos de material na construção de molhes. Os aterros efectuados obedecem a determinados critérios de engenharia e era necessário controlar com exactidão que esses critérios fossem cumpridos, caso contrário, poderia estar em risco a capacidade estrutural do molhe.

O controlo de dragados correspondeu mais a um controlo de desenrochamento. Esta tarefa revestia-se de cuidados especiais porque era necessário garantir a profundidade mínima planeada apesar dos custos onerosos dos desenrochamentos e de algumas divergências com o empreiteiro da obra [Fernandes, 1987].

Os resultados destes levantamentos eram apresentados em implantações gráficas com projecções horizontais ou em gráficos de perfis. Os gráficos de perfis representam o perfil do fundo do mar segundo determinada direcção (geralmente perpendicular ao molhe), onde se podiam sobrepor dois ou mais perfis de levantamentos efectuados em diferentes ocasiões para comparação.

Depois das obras concluídas, entre 1996 e 2000 foram efectuados levantamentos topográficos e hidrográficos destinados a caracterizar o estado geral da superfície envolvente de toda a parte emersa dos quebra-mares, taludes de retenção, duques de alba e cais de acostagem. Na observação das infra-estruturas rígidas foram materializados pontos no terreno os quais foram coordenados e nivelados geometricamente a intervalos de tempo regulares por forma a verificar possíveis assentamentos ou afastamentos horizontais e verticais. As variações das coordenadas dos pontos perenizados foram inferiores a 3 centímetros.

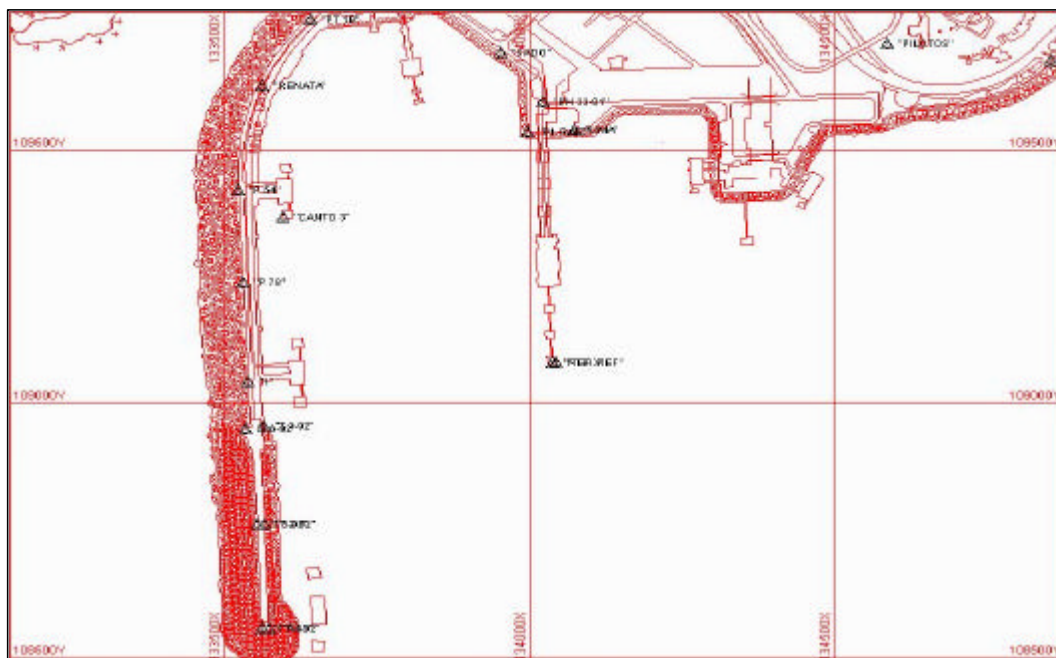


Figura 3 – Pontos de controlo no terminal petrolífero.

Para observação da evolução dos molhes, taludes de retenção e praia Vasco da Gama foram efectuados perfis perpendiculares às estruturas referidas. Na parte submersa foram efectuados perfis de sondagem durante os períodos de preia-mar e na

parte emersa foram efectuados perfis de topografia no seguimento dos perfis de sondagem durante períodos de baixa-mar por forma a haver sobreposição entre a sondagem e a topografia.

3.4. Monitorização do transporte de sedimentos

Entre 1983 e 1985 foram efectuados levantamentos topográficos periódicos com a finalidade de obter perfis numa faixa da Praia do Norte, em Sines, que tornassem possível avaliar os efeitos dos temporais na dinâmica sedimentar do cordão litoral [Fernandes, 1984a]. Em cada levantamento foram efectuados 50 perfis com um espaçamento de 20 metros. No total foram efectuados dez levantamentos, tendo-se concluído que parte da areia da praia emersa era removida após a ocorrência de um temporal. Por comparação entre os levantamentos efectuados antes e após o temporal de Dezembro de 1983 foi calculado um valor expedito de 200 m³ de areia removida por cada metro longitudinal de praia.

A construção de quebra-mares de protecção criou condições de agitação na praia Vasco da Gama que exigem o controlo periódico do processo de transporte de sedimentos. Entre 1996 e 2000 foram efectuados levantamentos topo-hidrográficos anuais de toda a bacia compreendida entre o muro da Avenida Vasco da Gama, os molhes do porto de recreio, porto de pesca e a linha entre as suas testas.

4. Métodos e Sistemas

Os métodos e sistemas de aquisição de dados utilizados nos levantamentos hidrográficos e topográficos no Porto de Sines reflectem a evolução registada na engenharia hidrográfica, em resultado do aparecimento de computadores mais potentes e novos sistemas para aquisição de dados.

Para os trabalhos de Sines foram desenvolvidas aplicações informáticas específicas, assim como novas metodologias. Diversos equipamentos foram adquiridos, ensaiados e utilizados pela primeira vez em Portugal, durante os trabalhos em Sines.

4.1. Equipamentos de aquisição de dados

Os equipamentos de aquisição de dados são os equipamentos de posicionamento, e os sondadores acústicos para medição de profundidades. Outros equipamentos que se designam por acessórios mas igualmente importantes, são os sensores de movimentos, transdutores de calibração, SVP's (sound velocity profilers).

4.1.1. Sistemas de posicionamento

Os sistemas de posicionamento podem ser divididos consoante o objectivo a que se destinam: geodesia, posicionamento dinâmico no mar e posicionamento dinâmico em terra.

- Geodesia

Para o estabelecimento da primeira rede local em 1972 foram utilizados teodolitos e distanciómetros. Até 1999 as observações para a coordenação de pontos de apoio basearam-se em medições de distâncias e ângulos horizontais utilizando teodolitos e distanciómetros cada vez mais evoluídos e automatizados. Em 1999 foi re-observada a rede local e coordenados novos pontos de apoio utilizando observações simultâneas com receptores GPS do tipo geodésico.

As observações com GPS geodésico foram efectuadas a partir de dois marcos da rede geodésica primordial,) Cercal e) Atalaia de Grândola. O GPS geodésico permite coordenar pontos com uma exactidão da ordem do sub-centímetro, com a

vantagem de não ser necessário a existência de inter-visibilidade entre as estação e de ser praticamente independente do estado do tempo. Foram calculados os parâmetros de transformação locais entre o WGS 84 e o datum Lisboa com uma exactidão de 10 centímetros.

- Posicionamento no mar

Na execução dos primeiros levantamentos hidrográficos, a pequena escala (1:5000 e 1:2500) foi utilizada uma solução mista teodolito/RAYDIST, através da qual a estação teodolito servia para guiar a embarcação de sondagem ao longo de um perfil e o RAYDIST fornecia a outra LDP (Linha de posição).

Em levantamentos de maior escala (1:1000 e 1:500) era utilizadas observações azimutais simultâneas a partir de três estações teodolito. A exactidão do posicionamento podia ser aferida devido a existirem observações redundantes. O erro estimado do posicionamento horizontal efectuado por teodolitos, quando executado por pessoal treinado era inferior a 15 centímetros.

No final da década de 70 começou a ser utilizado o sistema de posicionamento TRISPONDER. Este sistema mede distâncias a partir de estações fixas em terra, sendo necessárias pelo menos três estações em terra com inter-visibilidade para a embarcação, por forma a garantir medição da exactidão. A mudança para o TRISPONDER permitiu obter maior exactidão, verificação permanente e facilidade de instalação/operação. As posições de cada sonda eram interpoladas a partir das posições de controle observadas. O intervalo de tempo entre posições de controle era estabelecido em função da escala da implantação gráfica, por forma que as posições de controle não se afastassem mais de quatro centímetros.

Em 1986 foi adquirido o sistema POLARFIX que efectuava medições simultâneas de azimute e distância, com seguimento automático da embarcação. Este sistema tem uma exactidão da ordem do sub-metro e passou a ser utilizado em levantamentos de pequena escala. Os dados de posicionamento passaram a ser gravados em tempo real num computador, o que permitia acelerar o processamento e geo-referenciar cada valor de sonda digitalizado. Deste modo o nível de exactidão aumentou uma vez que se anularam os erros inerentes à interpolação do posicionamento.

A partir de 1998 os trabalhos foram efectuados com o sistema GPS diferencial, excepto aqueles onde era necessário seguir perfis de sondagem perpendiculares aos molhes e taludes de retenção. Neste caso, apesar de o posicionamento ser GPS diferencial o guiamento era efectuado por estações teodolito estacionadas nas cabeças de perfil.

- Trabalhos em terra

Para os trabalhos de topografia e nivelamento foram utilizados os sistemas clássicos deste tipo de trabalhos: teodolitos, distanciómetros e níveis. Estes equipamentos registaram uma notável evolução de tal modo que a partir de 1999 foram utilizadas estações totais que permitem observar e gravar em tempo real as coordenadas dos pontos topográficos, sem necessidade de efectuar cálculos manuais de redução de giros e de distâncias.

Pela primeira vez no IH, em 1999 foi efectuado um trabalho de topografia com recurso a GPS na praia Vasco da Gama. Também, a partir desse ano, foram coordenados e nivelados com GPS On-The-Fly os pontos de monitorização das infra-estruturas rígidas.

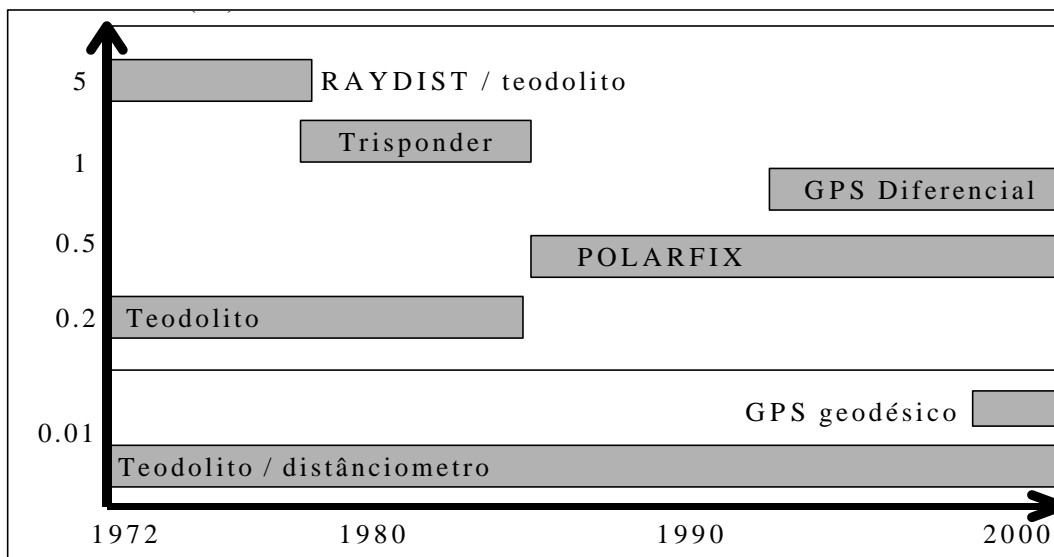


Figura 3 – Sistemas de posicionamento utilizados em Sines

4.1.2 Sondadores acústicos

Os sondadores acústicos utilizados em Sines foram de dois tipos: feixe simples e multifeixe. O sondador multifeixe em levantamentos hidrográficos é uma tecnologia dos anos 90, tendo sido utilizado em Sines a partir de 1997.

- Sondadores de feixe simples

Até 1999 os sondadores de feixe simples utilizados em Sines não registaram uma evolução significativa. Os modelos foram sendo mais compactos e robustos mas as capacidades básicas mantiveram-se inalteradas. A aquisição de profundidades efectuada por um sondador de feixe simples era registada num rolo de papel graduado e devidamente referenciado em posicionamento para posterior processamento em gabinete.



Figura 4 – Embarcação de sondagem com dois transdutores.

Em 1998 passou a ser efectuada a aquisição automática das profundidades num computador portátil devido à conjunção dos seguintes factores:

- Existência de sondadores acústicos com capacidade de digitalização,
- Desenvolvimento pelo IH de uma unidade electrónica de interface para conversão de dados digitais,
- A utilização de sensores de movimentos para compensação do movimento de translação vertical da embarcação causado pela ondulação,
- A existência de software que permite a aquisição e integração dos dados de profundidade, posicionamento e balanço em tempo real num PC.

- Sondadores multifeixe

Em 1996 o IH adquiriu um sondador acústico multifeixe. Pelas suas características – porto de águas profundas e facilidade de operação – uma área exterior ao porto de Sines foi seleccionada para efectuar os ensaios. Assim, em 1997, Sines foi o primeiro porto em Portugal onde foi utilizada a moderna tecnologia multifeixe.[IH, 1998].

O levantamento hidrográfico durou sete dias tendo coberto uma área de 7,5 km². Este trabalho foi comparado com um levantamento hidrográfico a feixe simples que decorreu em simultâneo. Da comparação entre os dois sistemas de sondagem foram observadas diferenças inferiores a 30 centímetros.

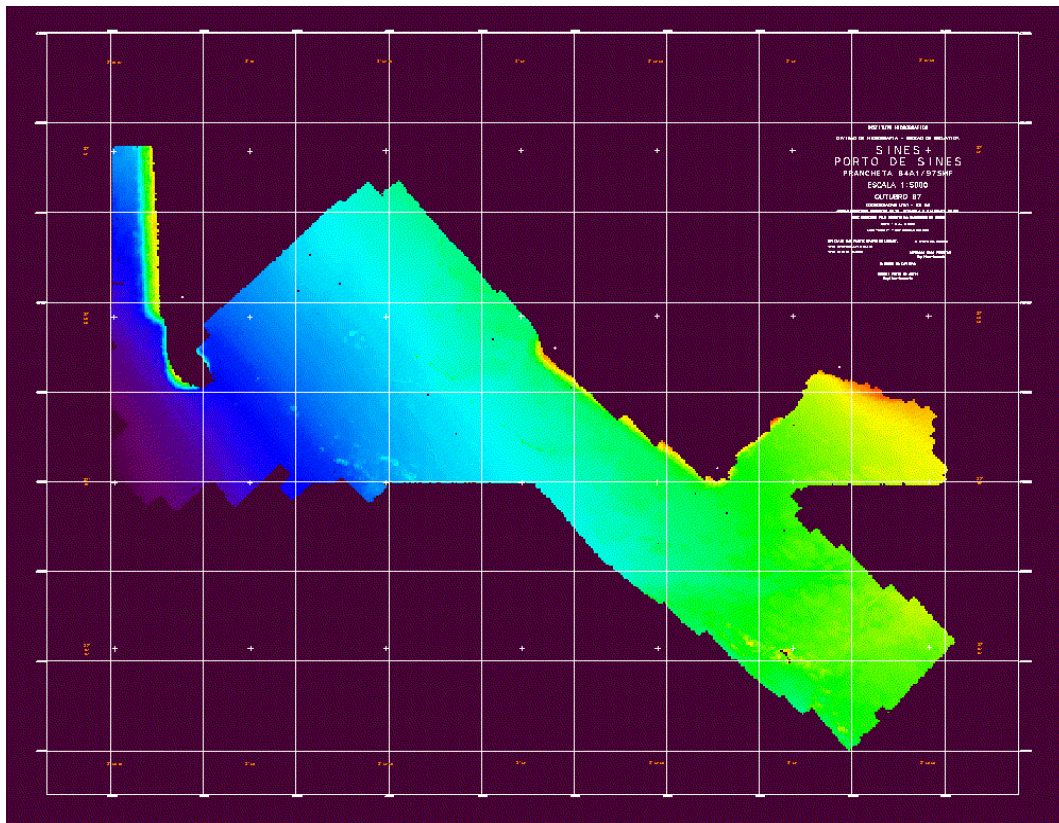


Figura 6 – Levantamento hidrográfico com sondador multifeixe no exterior do porto.

No ano 2000 foi efectuada um levantamento hidrográfico na área projectada para a construção do novo terminal de contentores. Estão previstos efectuar mais levantamentos com este equipamento cuja capacidade de cobertura total do fundo pode ser explorada na monitorização de obras, com vantagens relativamente aos sondadores de feixe simples.

4.2 Sistemas de aquisição e processamento de dados

No início a aquisição e o processamento de dados resultantes dos primeiros trabalhos efectuados em Sines era essencialmente manual. Os dados de profundidade eram registados no registo de papel do sondador, sendo a leitura efectuada com uma régua apropriada. As posições de controle das sondas eram implantadas a partir das observações efectuadas com os teodolitos ou Raydist directamente nas implantações gráficas. Uma implantação gráfica final resultava da perícia dos técnicos e em média uma demorava entre oito a quinze dias a produzir.

Com o advento das calculadoras electrónicas, em 1978, o cálculo das posições de controlo começou a ser facilitado. As coordenadas das sondas eram calculadas e implantadas na implantação gráfica que já trazia desenhada a quadrícula. Em 1980, os cálculos de posicionamento passaram a ser efectuados por computador, com a utilização do HP 9810, que fazia a implantação em traçador e registava os valores em fita de papel perfurada. Apesar das limitações deste computador (introdução dos dados por teclado e saída de dados por fita perfurada), foi um passo importante no sentido da informatização da hidrografia.

A experiência adquirida ao longo de anos de levantamentos hidrográficos em Sines foi muito importante na criação de métodos de processamento mais eficientes. O software de processamento de dados hidrográficos HIDRO é um exemplo. Este software, completamente desenvolvido no IH "informatizou" a hidrografia. Em 1984 começou a ser utilizado em Sines tendo as seguintes capacidades:

- Digitalização do registo do sondador,
- Cálculo do posicionamento.
- Implantação gráfica em plotter.
- Integração de toda a informação (posicionamento, profundidade e maré) num único ficheiro de sondagem para posterior implantação em papel.

No início da década de 90 os dados de posicionamento passaram a ser adquiridos em tempo real na embarcação num PC portátil. Os dados eram gravados num ficheiro para integração com os dados de sondagem em gabinete, após digitalização dos rolos de sonda. A criação de uma implantação gráfica final, normalmente só poderia estar pronta no dia seguinte ao da sondagem.

Em 1998 foi utilizado um software hidrográfico comercial desenvolvido por uma entidade externa ao IH que permite adquirir e integrar os dados de profundidade com a informação de posicionamento. O registo do sondador passou a ser redundante e apenas é usado como verificação dos valores digitalizados em caso de dúvida. Este avanço reduziu significativamente a intervenção humana no processamento e a produção de produtos finais passou a ser possível efectuar passadas algumas horas após o trabalho de campo.

Apesar de a aquisição de dados com o sondador multifeixe ser mais eficiente do que com o feixe simples, com o processamento de dados a ordem altera-se. Isto acontece porque o sondador multifeixe é um equipamento complexo que integra informação de diversos sensores e esta informação tem de ser verificada e validada por pessoal experiente e com a formação adequada. Além disso a densidade de informação é dez ou mais vezes maior quando comparada com o sondador de feixe simples.

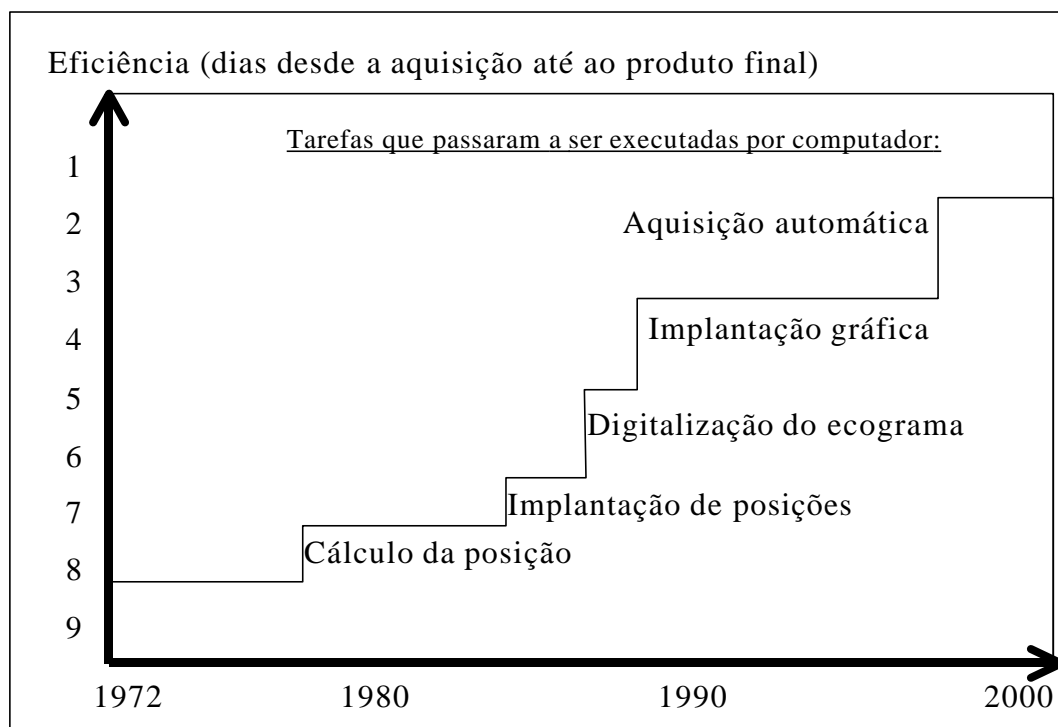


Figura 7 – Evolução dos métodos de aquisição e processamento de dados utilizados em Sines.

4. Considerações finais

A par dos compromissos assumidos com a entidade contratante, o IH foi ensaiando novos equipamentos e sistemas na execução de levantamentos hidrográficos. Sines representa um polo de desenvolvimento para a hidrografia dedicada ao acompanhamento de obras portuárias.

Com a construção de um novo terminal de contentores e a conseqüente expansão do porto, avizinha-se uma nova etapa na história já longa da participação do IH em Sines. Novas tecnologias serão utilizadas, nomeadamente a tecnologia multifeixe de pequenos fundos e sistemas de posicionamento GPS On-The-Fly em tempo real para medição de marés em tempo real na embarcação.

Referências

- Fernandes, A. (1984). "Implantação e coordenação de marcos de apoio topográfico para a construção do terminal de carvão no porto de Sines" *Anais do Instituto Hidrográfico*.
- Fernandes, A. (1984a). "Contribuição do Instituto Hidrográfico na fiscalização das obras portuárias em Sines" *Anais do Instituto Hidrográfico*.
- Fernandes, A. (1987). "Estudo da evolução da praia do norte em Sines" *Anais do Instituto Hidrográfico*.
- Instituto Hidrográfico (1975) "Trabalhos de Apoio ao Gabinete da Área de Sines,(Fiscalização do molhe oeste)" Missão Hidrográfica N° 1, período de Junho/Agosto 1975.
- Instituto Hidrográfico (1998) "Avaliação do desempenho e da reprodutibilidade do sistema sondador multifeixe", Relatório Técnico Preliminar HI 05/98, Fevereiro 98.