

Dragagens

Fundamentos, Técnicas e Impactos



Editores Carlos Coelho, Paulo A. Silva,
Luis M. Pinheiro, Daniela S. Gonçalves

Dragagens

Fundamentos, Técnicas e Impactos

| Ficha Técnica

Nome | Dragagens - Fundamentos, Técnicas e Impactos

Editores | Carlos Coelho, Paulo A. Silva, Luis M. Pinheiro, Daniela S. Gonçalves

Editor | Universidade de Aveiro

Design e Paginação | Luisa Sacchetti

Revisão | Os editores

Depósito Legal | 337529/11

Impressão | Lusoimpress

Tiragem | 500 exemplares

Data | Dezembro 2011

ISBN | 978-972-789-346-1

Catalogação recomendada | Dragagens: fundamentos, técnicas e impactos / ed. e rev. de Carlos Coelho...[et al.]. - Aveiro: Universidade de Aveiro, 2011. - 280 p.

ISBN 978-972-789-346-1 (brochado)

Dragagem // Equipamentos hidráulicos //

Impacto ambiental // Monitorização // Zonas

costeiras

CDU 627.74



A dragagem é uma actividade de extrema importância na zona costeira, assumindo um papel fundamental no desenvolvimento económico e social do país. É imprescindível para a actividade portuária, quer do ponto de vista de construção de novas infra-estruturas, quer na manutenção das já existentes. Permite incrementar a competitividade dos portos e pode contribuir para uma melhor gestão e planeamento da zona costeira.

O processo de dragagem inclui o total das acções necessárias para a extração, transporte e descarga dos sedimentos situados abaixo do nível das águas do mar e pode ter diferentes propósitos, tais como a abertura de canais de navegação, a execução de obras, a alimentação de praias e a exploração de inertes, entre muitos outros.

Numa iniciativa levada a cabo pela Universidade de Aveiro (UA) e pela Administração do Porto de Aveiro (APA) foi realizado, na Universidade de Aveiro, nos dias 25 e 26 de Junho de 2009, o 1º Curso Técnico de Dragagens. Esta formação contou com a participação de profissionais da indústria, quadros da administração pública, académicos e estudantes com interesse neste tópico. Pretendeu-se proporcionar uma visão global e actual deste tema e dos aspectos mais relevantes com ele relacionados, nomeadamente questões técnicas e ambientais.

O 1º Curso Técnico de Dragagens consistiu numa série de comunicações realizadas por especialistas da indústria, das autoridades portuárias e do meio académico. Face à relevância do tema das dragagens em vários sectores da economia nacional, à lacuna de um texto actualizado e com uma visão integrada sobre o tema, e ao elevado número de participantes no curso (cerca de 120 participantes), considerou-se importante a edição deste livro. Pretende-se que tenha um carácter formativo nas questões mais relevantes deste tema para os profissionais da área, assim como para alunos do ensino Universitário que pretendam vir a seguir esta via profissionalizante ou de investigação na área da Engenharia Marítima e Costeira, assim como no planeamento das zonas costeiras.

O livro está dividido em cinco capítulos, abordando vários tópicos do campo de actividade de dragagens, os equipamentos utilizados para a sua realização, os processos sedimentares e métodos de monitorização, os impactos das operações de dragagens, finalizando com a apresentação de alguns casos de estudo e de aplicação de materiais dragados.

O primeiro capítulo discute aspectos gerais da actividade de dragagens, que incluem: a definição da actividade de dragagem e do seu campo de aplicação; aspectos relacionados com a tecnologia, a mão-de-obra e os custos de operação; o planeamento de dragagens para a operacionalidade portuária e a segurança de navegação; o enquadramento legislativo sobre o aproveitamento de depósitos minerais na plataforma continental; e questões relacionadas com o depósito e vazadouro dos materiais dragados.

O segundo capítulo descreve os equipamentos mecânicos e hidráulicos utilizados nas operações de dragagem, apresentando as suas principais características e funcionalidades.

O terceiro capítulo inicia-se com a análise dos principais processos físicos de transporte sedimentar e introduz os conceitos fundamentais subjacentes necessários para compreender a dinâmica das acções naturais que condicionam as dragagens. De seguida, descrevem-se os métodos geofísicos utilizados na prospecção, planificação e monitorização de operações de dragagens, assim como na caracterização de ocorrências de agregados na plataforma continental. Aborda ainda a aplicação de AUV's na avaliação e monitorização de áreas de dragagem.

O quarto capítulo discute os impactos ambientais e físicos que resultam das operações de dragagens e da exploração de inertes na plataforma continental.

O quinto capítulo apresenta casos de estudo de prospecção e utilização de materiais dragados. Descrevem-se os levantamentos geofísicos realizados para a inventariação das áreas de exploração de inertes na plataforma da Ilha do Faial, Açores. De seguida é apresentada e discutida a alimentação artificial de praias com materiais dragados, como intervenção de mitigação dos problemas de erosão costeira a Sul da Barra de Aveiro e na costa Algarvia. Por fim, referem-se as potencialidades de aplicação de dragados como material de construção, em diversos campos da construção civil.

Este livro pretende ser um documento actualizado e integrador sobre o tema das dragagens, dirigido a profissionais da área e estudantes universitários, que possa servir de referência nos vários aspectos relacionados com a prática da actividade de dragagem.

Aveiro, Dezembro de 2011

Os editores

Agradecimentos

O 1º Curso Técnico de Dragagens foi uma iniciativa conjunta entre a Universidade de Aveiro e a Administração do Porto de Aveiro (APA), instituições às quais os editores agradecem.

Agradece-se ao Eng. José Luis Cacho e ao Eng. Rui Paiva (Conselho de Administração do Porto de Aveiro) e ao Eng. Roberto Vidal (Dravosa) que apoiaram desde o início a realização do curso e colaboraram na sua organização.

Agradece-se também os apoios concedidos pela Dravosa, Irmãos Cavaco S.A., OFM - Obras Públicas, Ferroviárias e Marítimas, S.A. e ETERMAR.

Um muito obrigado a todos os oradores e autores que contribuiram para o 1º Curso Técnico de Dragagens e para esta publicação. Agradece-se ao Tiago Ribeiro, Catarina Lemos, Leonardo Azevedo, Ronaldo Bezerra e Luís Gandarinho pelo apoio na preparação logística e durante a realização das sessões e ao Sérgio Dias (APA) pela cedência de algumas imagens.

Por último, mas não menos importante, agradece-se a todos os participantes do 1º Curso Técnico de Dragagens que motivaram a publicação deste livro.

Este curso foi realizado no âmbito do projecto SANDEX - Extracção de areias na plataforma continental portuguesa: impactos e evolução morfodinâmica (PTDC/ECM/70428/2006) financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT).



universidade de aveiro
teoria prática práxis



Porto de
AVEIRO

Apoios:





- 003 - Preâmbulo
005 - Agradecimentos
- 009 - **CAMPO DE ACTIVIDADE DE DRAGAGENS** · Cap.I
011 - I.1. Definição do Campo de Actividades de Dragagens
023 - I.2. Aspectos Distintivos de Dragagem
029 - I.3. Planeamento de Dragagens Portuárias
039 - I.4. Enquadramento Legislativo sobre os Recursos Geológicos
051 - I.5. Depósitos e Vazadouros
- 065 - **EQUIPAMENTOS DE DRAGAGEM** · Cap.II
067 - II.1. Equipamentos Mecânicos de Dragagem
087 - II.2. Equipamentos Hidráulicos de Dragagem
- 095 - **PROCESSOS SEDIMENTARES E MÉTODOS DE MONITORIZAÇÃO** · Cap.III
097 - III.1. Dinâmica Sedimentar
119 - III.2. Métodos Geofísicos na Planificação e Monitorização de Operações de Dragagens e na Prospecção de Agregados na Plataforma Continental
- 151 - **IMPACTO DAS DRAGAGENS** · Cap.IV
153 - IV.1. Impactos Ambientais
161 - IV.2. Impactos da Exploração de Inertes na Plataforma Continental
- 187 - **CASOS DE ESTUDO E APLICAÇÃO DOS DRAGADOS** · Cap.V
189 - V.1. Prospecção de Agregados nas Plataformas Insulares dos Açores - O Exemplo da Ilha do Faial
201 - V.2. Alimentação Artificial de Areias a Sul da Barra de Aveiro
221 - V.3. Alimentação Artificial de Praias com Dragados no Algarve
241 - V.4. Utilização de Dragados em Materiais de Construção
- 257 - Referências Bibliográficas
271 - Bibliografia Adicional

Campo de actividade de dragagens

CAPITULO I



1. Definição do Campo de Actividades de Dragagens

1.1. A Dragagem como Factor Determinante

Na existência dos homens e dos povos, o mar foi sempre um factor decisivo para o progresso e o desenvolvimento. Para além da sua importância de índole física (ocupa 361 milhões de km², face aos 149 milhões de km² de terra emersa no planeta), o mar foi e é o laço de união entre continentes e o meio por onde se cruzam as diversas culturas.

O homem teve, assim, a tarefa de se desenvolver neste meio que inicialmente lhe era estranho, com a convicção que o domínio da terra exigia o domínio do mar. Portanto, desde tempos remotos, a navegação foi o veículo de expansão comercial, a via de comunicação e o meio de ligação de todas as civilizações conhecidas. Os portos, entendidos como instalações para receber as embarcações que tornam a navegação possível, devem a sua existência a um factor vital: a altura de água suficiente para poder receber as unidades flutuantes em função dos seus calados. Conseguir essa altura de água e mantê-la, é o grande e importante objectivo de uma actividade da engenharia civil - a dragagem.

A história mostra numerosos casos de lugares nos quais o seu desenvolvimento ou declínio se deveu ao sucesso ou fracasso da actividade de dragagem.

Óstia-Civitavechia

Anco Marcio, o quarto rei romano, foi quem construiu no século VII a.C. o Porto de *Óstia*, na margem esquerda da foz do Rio *Tiber*. Com o tempo, chegou a ser a "porta" de entrada de passageiros e mercadorias para a capital do mundo, Roma.

A sua localização foi, durante séculos, um foco contínuo de problemas de assoreamento. No ano 42 d.C., os graves problemas de sedimentação deixaram as instalações do porto inutilizadas. Isto obrigou à sua transferência para um local três quilómetros mais a Norte. O *Portus* foi construído, pelo imperador *Cláudio*, em seco e ligado ao Rio *Tiber* através de um canal. Com isto, pensaram ter vencido a luta contra o assoreamento, no entanto, o fenómeno continuou (Figura I-1).

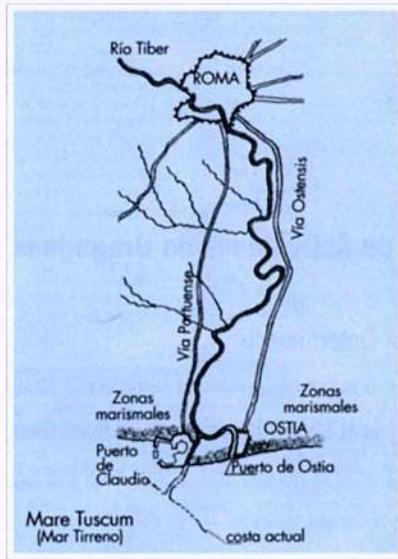


Figura I-1 · Esquema que ilustra a posição relativa entre o Porto de *Óstia* e o porto construído pelo imperador romano *Cláudio*.

O Imperador *Trajano*, em 112 d.C., com os despojos de guerra de 165ton de ouro e o dobro de prata conseguidos na guerra contra os Dácios, melhorou de maneira considerável o *Portus de Cláudio*, mas não foi possível eliminar o “cancro” dos assoreamentos. Definitivamente os engenheiros portuários deram-se por vencidos. O próprio *Trajano* decidiu mudar o Porto de Roma de *Óstia* para *Centrum Cellar*, actualmente *Civitavecchia*.

O factor “manutenção do calado” foi determinante para fixar a localização do porto do Império Romano.

Sevilha – Cádiz

A cidade de Sevilha surgiu nos princípios do século XVI como a capital da América e da Europa graças ao seu porto. Banhada pelo Rio Guadaluquivir, o seu porto foi a porta de entrada de todas as riquezas vindas do Continente Americano com destino a Espanha.

Em 1503 é estabelecida em Sevilha a *Casa da Contratação das Índias*, encarregada de coordenar as relações com as terras recém-descobertas. Entre 1503 e 1560 chegaram pelo Guadaluquivir cerca de 100000kg de ouro em lingotes. Nos últimos anos do século XVI desembarcaram em Sevilha, em média, 250000kg prata por ano. Em 1580 Sevilha era a segunda cidade mais povoada da Europa, com 120000 habitantes, ficando somente atrás de Nápoles, o grande centro mediterrânico da época. Mas a partir de 1630 começou um declínio sem retrocesso; perdia-se progressivamente a luta contra o as-

soreamento do rio e era cada vez mais difícil manter os calados para a navegação no Guadalquivir. Os navios da frota das Índias, em maior número, foram paulatinamente descarregando no Porto de Cádiz que possuía maiores calados. Com isto, o comércio de Sevilha, e com ele a própria cidade, perderam de forma gradual a sua importância. Este enfraquecimento da cidade prosseguiu de maneira agonizante até quase à sua decadência em 1717, passando Cádiz a substituir Sevilha como sede da *Casa da Contratação*.

Sevilha, perdeu assim a grande influência que teve no mundo no século XVI e parte do XVII, por impossibilidade de manter os calados de acesso ao seu porto.

Aveiro – Portugal

O Porto de Aveiro (Figura I-2) é um excelente exemplo da relação entre a função dragagem e a existência da própria infra-estrutura portuária (Figura I-3).



Figura I-2 - Fotografia aérea do Porto de Aveiro.

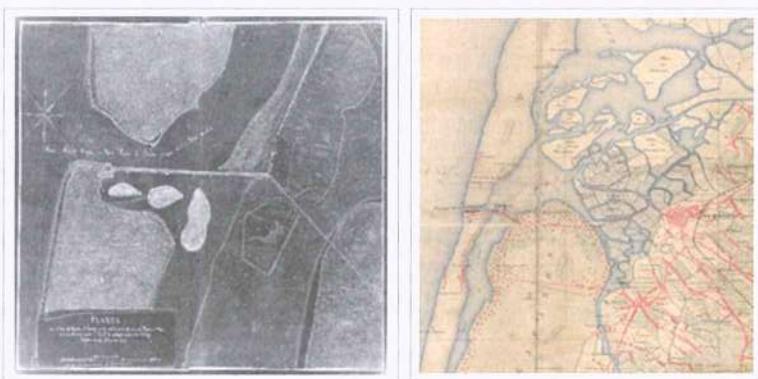


Figura I-3 - Plantas ilustrativas da diferente morfologia da Ria de Aveiro ao longo do tempo.

Localizado num vasto espaço lagunar que envolve a foz do Rio Vouga, foi a partir da fixação da barra em 1808 e da construção, na primeira metade do século XX, do molhe Norte e dos diques reguladores de correntes, que o Porto de Aveiro adquiriu condições de estabilidade estrutural e de naveabilidade absolutamente essenciais para o seu crescimento.

Situado, numa 1^a fase, mais para o interior da laguna, junto à cidade de Aveiro, depressa se conclui pela necessidade de o localizar mais perto da entrada da barra, construindo-se para o efeito o chamado Terminal Norte numa zona de juncais e terrenos alagadiços (Figura I-4). Este terminal arrancou em 1988 com 500m de cais ao qual foram acrescentados em 1995 mais 150m. A partir do ano 2000 é posto em marcha um ambicioso plano de expansão do porto que permitiu a sua transformação na infra-estrutura moderna, multidisciplinar e competente actualmente existente.



Figura I-4 - Fotografia aérea do Porto de Aveiro, mostrando a vermelho a zona do Terminal Norte.

O Porto de Aveiro é hoje uma realidade física e económica importante para região e para o País, graças às sucessivas dragagens levadas a cabo ao longo dos tempos. Desde a própria estabilização da barra em 1808, até à construção dos diversos terminais e bacias de manobra, o Porto de Aveiro foi crescendo fisicamente numa ligação estreita com operações de dragagem; estas deram-lhe a sua forma actual e garantem a eficácia da sua operacionalidade.

1.2. A Dragagem na Vida Quotidiana

As dragagens estão muito mais próximas da vida quotidiana do que se imagina. Quando milhares de

passageiros apanham um avião em muitos aeroportos espalhados por todo o mundo (Hong Kong, Shangai, Osaka (Figura I-5), Sydney, Rio de Janeiro, Doha, entre outros) fazem-no graças ao trabalho de numerosas dragas. Quando turistas desfrutam do seu merecido descanso nas praias de todo o mundo, é bem provável que tenha havido uma operação de dragagem na reabilitação dessas mesmas praias.



Figura I-5 - Fotografia aérea do aeroporto de Osaka.

Todos os milhares de utilizadores da colossal ponte *Oreensund*, que une a Dinamarca à Suécia, deveriam saber que as unidades de dragagem tiveram uma intervenção fundamental na sua construção. A implantação de "extravagantes" zonas residenciais no Dubai, Singapura e Qatar, por exemplo, só foi possível com o trabalho de diversificados equipamentos de dragagem. E assim sucessivamente, sem esquecer a relação íntima com o ambiente, através de múltiplas intervenções saneadoras de problemas diversos, no âmbito, por exemplo, da contaminação de fundos marinhos e fluviais.

1.3. Razões para uma Dragagem

São diversos os motivos que levam à execução de uma dragagem. Alguns exemplos são:

- *Navegação*: como consequência do aumento do tráfego marítimo, tendo em conta que este tipo de transporte se revela mais económico, mais eficiente e menos poluente, os portos obrigam a trabalhos permanentes de dragagem na manutenção dos seus canais de navegação, ou na construção de novas infra-estruturas portuárias.
- *Construção*: a pressão demográfica e o desenvolvimento da sociedade exigirão mais edificações e todo o tipo de construções. Neste sentido, as dragagens continuarão a dar o seu contributo para a obtenção dos diversos tipos de materiais inertes. Ainda no sector da construção, a exploração de minérios em fundos marinhos e a abertura de valas para a instalação de tubagens e cabos submarinos.

rinos, são também campos importantes de aplicação das dragagens.

· *Melhoria do meio ambiente*: na defesa da orla costeira e recuperação/manutenção de praias, bem como na eliminação dos materiais de fundos contaminados. Relativamente a esta última questão emergem dois problemas principais: como dragá-los e como e onde depositá-los.

1.3.1. Dragagens Portuárias

Nos Estados Unidos são dragados anualmente cerca de 200 milhões de m³. Incompreensivelmente é um país com protecção completa à sua indústria de dragagem, que impede a livre concorrência internacional. Este mesmo volume é dragado por ano na Europa, somente em operações de manutenção. Na Holanda o valor médio anual das dragagens atinge os 30 milhões de m³, dos quais 15 milhões são depositados nas praias para a sua manutenção.

A China, gigante desconhecido durante décadas, começa paulatinamente a abrir-se ao exterior. Conta com mais de mil empresas de dragagens de todo o tipo e tamanho. Entre elas, salienta-se a CHEK, que concorre no mercado internacional. O acesso ao Porto de Nansha, a Sul da China, no delta do *Pearl River*, será feito através de um canal de navegação com 40km de comprimento, que deverá estar concluído em 2012. Está actualmente a ser dragado, prevendo-se um volume de escavação de 1000 milhões de m³.

Existem portos europeus com quantidades importantes de dragagens anuais. No Rio Escaldia (Bélgica), dragam-se todos os anos 8 milhões de m³ em trabalhos de manutenção. Nos últimos 60 anos escavaram-se 500 milhões de m³. Hamburgo é outro relevante porto dragador, com 3 a 5 milhões de m³ de material dragado por ano.

Menção especial merece a construção da ampliação do Porto de Roterdão, com o novo Terminal de Maasvlakte 2 (Figura I-6). Engloba fundamentalmente a construção de dois terminais de contentores de 4.5 e 4 milhões TEU/ano. Os trabalhos de dragagem e aterro representarão um volume de 325 milhões de m³, constituindo a maior dragagem individual jamais executada na Europa. Os fundos conseguidos, -20m, ficarão aptos para receber os maiores navios porta-contentores das grandes linhas intercontinentais.

1.3.2. A Ampliação do Canal do Panamá

Actualmente o Canal do Panamá dispõe de um calado de -12.5m permitindo o tráfego de navios até 5000 TEUs¹. Com um investimento de mais de 5000 milhões de dólares, a ampliação do canal, que

¹TEU - Unidade equivalente a 20 pés (*Twenty-foot Equivalent Unit*) e representa a capacidade de carga de um contentor marítimo normal (20 pés de comprimento).

está a ser levada a cabo, consiste fundamentalmente na construção de novas eclusas, no alargamento e aprofundamento da sua via de navegação até um calado de 18m, possibilitando assim a passagem de porta-contentores de mais 10000 TEUs. Refere-se, a propósito, que o maior navio deste tipo é o "Emma Maers", de 11000 TEUs e 16m de calado em plena carga.

O material a dragar/escavar é composto por 133 milhões de m³ de rocha basáltica e 53 milhões de m³ de material arenoso nos acessos às novas eclusas do lado do Pacífico.

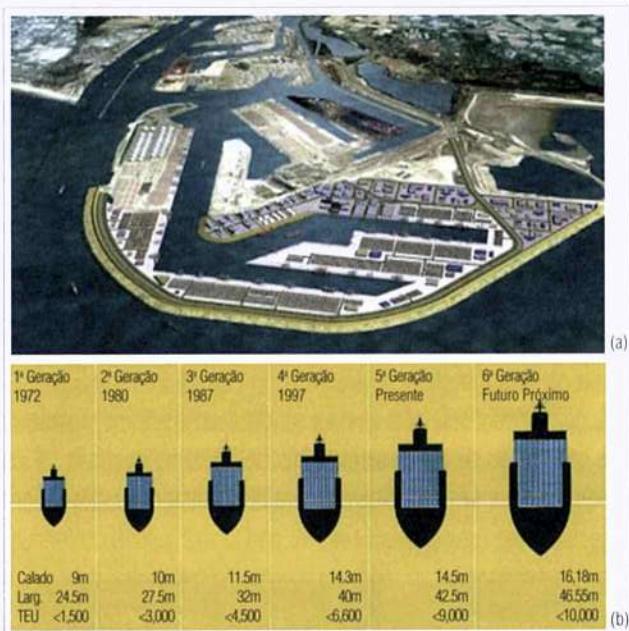


Figura I-6 - (a) Novo Terminal de Maasvlakte 2 do Porto de Roterdão, cuja construção leva à maior dragagem individual jamais executada na Europa. (b) Resumo histórico dos calados que o porto conseguiu receber ao longo do tempo.

1.3.3. Praias e Protecção Costeira

A costa tem uma importância vital na vida das comunidades. Metade da população mundial vive a menos de 60km do mar. Oito em cada das dez maiores cidades do mundo estão junto à orla marítima. Por outro lado, a costa é, de um modo geral, frágil e vulnerável. Em Espanha, para compensar a subida média do mar (6mm/ano), são depositados em vários locais da orla costeira cerca de 7 milhões de m³ de areia por ano.

A indústria de dragagem intervém activamente na protecção da costa, fundamentalmente através da realimentação das praias.

O trabalho nas praias em toda a Europa foi sempre muito importante. No período 1955-2000, a Alemanha depositou 300 milhões de m³ nas suas praias e a Holanda 110 milhões de m³ entre 1965 e 2000.

1.3.4. Aterros para a Construção e Aeroportos

Bastam alguns exemplos para reconhecer a importância das dragagens no que respeita a aterros para a construção em geral e de aeroportos em particular. O KANSAI, em Osaka, foi o primeiro grande aterro construído no Japão. Entre 1986 e 1991, este terrapleno foi conseguido com recurso a areias procedentes de dragagens, a partir de uma área com 400ha a 5km da costa.

Outro exemplo é o aeroporto de DOHA, na Índia, que pretende receber o gigantesco AIRBUS A380, com capacidade de transportar até 800 passageiros. Estão a ser efectuados aterros, recorrendo a 60 milhões de m³ de sedimentos. A capacidade de dragagem instalada é de 3 milhões de m³ por mês.

Também o CHEK LAP KOK, em Hong-Kong, finalizado em 1998, constitui outra empreitada de referência neste segmento. Esta obra, emblemática na altura, representou um volume de dragagens para aterro de 283 milhões de m³, obtendo-se deste modo 1250ha de terraplenos. Trabalharam 25 dragas simultaneamente.

1.3.5. Equipamentos Residenciais

Com alguma dose de extravagância, têm vindo a ser efectuados aterros gigantescos com produtos de dragagem, para a construção de zonas residenciais de altíssima qualidade. É obrigatória uma referência especial ao que está a ser desenvolvido num dos emirados árabes do golfo pérsico: o Dubai (Figura I-7).



Figura I-7 - Imagem do Dubai ilustrando algumas das suas obras com maior impacto e dimensão.

Com uma economia baseada, desde 1966, no petróleo, o Dubai, no início da(s) última(s) década(s),

decidiu alterar o seu modelo de desenvolvimento, sendo o turismo residencial um dos seus grandes objectivos. Inicialmente com um comprimento de costa de 70km, o emirado pretende conseguir mais de 600km mediante aterros procedentes de dragagem.

As realizações de maior impacto e dimensão são as seguintes:

- Palmeira Jumeirah - na sua construção foram movimentados mais de 60 milhões de m³ em operações de dragagem e aterro.
- Palmeira Deira - exige um volume de dragados de 1400 milhões de m³. A produção máxima em pleno ritmo é de 3 milhões de m³ por semana. O investimento previsto é de 2500 milhões de dólares..
- Ilhas do Mundo (*the World*) - 300 ilhas artificiais de 1 a 4ha cada, situadas a 4km da costa. Com a construção já concluída, envolveu um total de 300 milhões de m³ de areia de dragagem e 30 milhões de ton. de material de enrocamento de protecção.

1.3.6. Depósitos de Materiais Contaminados

Abordou-se já anteriormente o papel saneador que as dragagens têm actualmente na problemática dos depósitos de elementos contaminados. A este respeito, refere-se a existência de locais apropriados para receber estes materiais poluentes (confrontar Capítulo I-5):

- *Sluifeter* - encontra-se à entrada do Porto de Roterdão (Figura I-8) e foi construído nos anos 86 e 87. Com uma capacidade de 150 milhões de m³, é o maior depósito do mundo. Conta com centrais de extração e limpeza para reciclagem dos produtos de dragagem.
- *Ketelmeer* - construído entre 2000 e 2001 para receber os produtos do Rio Reno.
- O porto espanhol de Huelva tem já três recintos construídos com uma capacidade total aproximada de 4 milhões de m³, onde deposita os produtos das dragagens que não têm características para serem utilizados em praias e aterros, ou descarregados no mar.



Figura I-8 - Maior depósito de dragados do mundo, situado à entrada do Porto de Roterdão, com uma capacidade de cerca de 150 milhões de m³.

1.3.7. Equipamentos Especiais

Existem já alguns equipamentos especiais para a dragagem de produtos contaminados, embora ainda numa fase que os leva a serem apelidados de protótipos. Estão concebidos para produzir a mínima agitação possível dos materiais durante o processo de dragagem e para que a sua recolha e transporte ao local de depósito seja o mais hermética possível. São dragas de disco, de parafuso sem-fim, entre outras. Os rendimentos são necessariamente baixos e os custos unitários elevados.

1.4. A Dragagem como Factor de Concorrência Interportuária

As obras de dragagem converteram-se num factor com uma incidência vital na concorrência interportuária, tendo em conta a necessidade dos portos operarem com navios cada vez maiores. A dimensão "gigantesca" das embarcações requer fundos de circulação portuária compatíveis e grandes superfícies de teraplenos adjacentes.

A amortização de um navio está directamente ligada aos tempos de navegação. Neste contexto, o objectivo perseguido por todos os armadores é conseguir a maior redução possível dos períodos de carga e descarga em porto. Esta é a tendência actual generalizada e que se comprova pelas estatísticas dos portos; as mercadorias movimentadas aumentam numa relação superior ao aumento do número de navios.

O crescimento acentuado do tamanho dos navios está a obrigar os portos a terem em conta a obtenção de calados cada vez maiores, como medida imprescindível para a sua sobrevivência. À forte aposta do Porto de Roterdão, com os seus novos terminais de Maasvlakte 2, atrás referidos, que disponibilizarão calados de 20m, estão a responder os portos de Hamburgo (actualmente com 14.5m) e Amberes (12.8m) com megaprojectos de aprofundamento e alargamento dos rios Elba e Escaldia, respectivamente. Com isto, esperam não perder na "luta" pelos tráfegos do Norte da Europa.

Este factor chave e as suas consequências são bem ilustradas pelo que aconteceu nos Estados Unidos com o canal do Panamá e fez com que o *ranking* dos grandes portos sofresse grandes alterações. Há 20 anos, a ligação marítima da Costa Leste norte-americana às economias do remoto oriente realizava-se através do canal do Panamá. No entanto, o crescimento dos calados dos navios, deu lugar a que grande parte da frota que servia este tráfego excedesse o tamanho máximo permitido no canal. Tornou-se assim necessário reforçar a utilização dos portos americanos da costa do Pacífico e implementar a necessária complementaridade modal terrestre de ligação da costa Oeste à costa Leste. Fruto desta realidade, emergem com força na costa Oeste os portos de Seattle, Tacoma e Oakland, além de Long Beach, que experimentam taxas de crescimento impensáveis anos atrás. Em 1984 havia apenas um comboio de mercadorias ligando o Porto de Long Beach (costa oeste) com Chicago. Cinco anos

depois, o número de composições unindo estes portos com Chicago, Kansas City, Dallas e Houston eram já 114. Em 1994, o número de comboios já tinha aumentado para 241 e com tendência acentuada de crescimento (Figura I-9).

Neste mundo crescentemente globalizado em que se vive, mesmo com o actual cenário de dificuldades, deve-se estar atento ao que acontecerá com a conclusão das obras de ampliação do canal do Panamá, prevista para 2014, que, seguramente, alterará significativamente o panorama mundial das rotas de tráfego marítimo e a importância estratégica de localização e competências das infra-estruturas portuárias.



Figura I-9 - Ligações terrestres existentes entre os portos de Seattle, Tacoma, Oakland e Long Beach com Chicago, Kansas City, Dallas e Houston.

O homem, exemplar pensante e empreendedor da natureza, sempre teve com esta uma relação difícil e complexa. De forma tímida, cautelosa e amedrontada, desde o início do seu crescimento o ser humano tem vindo, nem sempre com sucesso, a tentar impor os seus padrões de desenvolvimento, procurando ajustar aos seus interesses a realidade física da envolvente natural em que existe. No bom senso, no equilíbrio e na ponderação das decisões, estará sempre a chave do sucesso da sua sobrevivência. É também na observância destes princípios que a dragagem, enquanto elemento modelador da natureza, deve continuar a enquadurar a sua actividade, cada vez com mais rigor.

2. Aspectos Distintivos de Dragagem

2.1. Princípios da Teoria Económica

A Teoria Económica define como *produção* a transformação de bens e serviços noutras bens e serviços. Isto é, determinados bens e serviços sofrem uma transformação necessária para o nascimento do bem ou serviço que se pretende produzir, mediante a aplicação de determinadas doses de trabalho, tecnologia e capital (Figura I-10).



Figura I-10 - Factores necessários à criação de bens e serviços.

Como se aplicam estes conceitos à dragagem?

O *trabalho* é proporcionado pelos Homens que constituem a actividade de dragagem, que deverão apresentar as seguintes características:

- Muito especializados;
- Elevado nível técnico e em formação permanente;
- Capacidade de resposta aos avanços técnicos, que progridem a grande velocidade;
- Com condições laborais adequadas (por exemplo, as tripulações das dragas das grandes empre-

sas europeias trabalham no Médio e Extremo Oriente em regime laboral de 1/1, isto é, um dia a bordo e um dia de descanso, o que significa 4 tripulações por draga).

A *tecnologia* está relacionada com as máquinas que intervêm no processo de dragagem, nomeadamente as dragas, que são, de facto, o equipamento crucial na generalidade das obras marítimas. Neste tipo de obras e no que se refere à tecnologia envolvida, nenhum equipamento é comparável às dragas. A título de exemplo, o navio mercante convencional mais parecido a uma draga de sucção em marcha (*trailer*) é o *bulkcarrier*, o graneleiro. A construção de um *bulkcarrier* tipo *Handy* de dwt² 50000t tem um custo aproximado de 30 milhões de Euros, enquanto que um *trailer* de dwt 50000t (30000m³ de balde) poderá custar 130 milhões de Euros. Ou seja, relativamente ao navio convencional o *trailer* tem um acréscimo 100 milhões de Euros em equipamentos, serviços, sistemas electrónicos e informáticos, automatismos, entre outros. Este exemplo, dá uma ideia do elevado nível tecnológico que as dragas abrangem.

Com o avanço da tecnologia, é já possível dragar com precisão a 150 metros de profundidade de água e com vagas de 2 a 3 metros. Os equipamentos estão a alcançar dimensões cada vez maiores. Enquanto que nos anos 80 o tamanho máximo dos *trailer* era 6000m³, 25 anos depois, este tipo de navios chega a alcançar os 43000m³. Actualmente, os grandes cortadores apresentam potências próximas dos 40000HP.

O *Capital* corresponde aos fortes investimentos que representam as construções dos equipamentos de dragagem. Mencionou-se anteriormente o custo das dragas comparado com o dos navios mercantes. A título de exemplo, o plano de investimento das quatro maiores empresas de dragagem de Benelux (duas holandesas e duas belgas) para o período 2008-2011 foi de 4000 milhões de Euros.

A indústria de dragagem apresenta uma forte capacidade exportadora, uma vez que cinquenta por cento da facturação das empresas de dragagens europeias realiza-se fora da Europa, contribuindo assim para a riqueza nacional.

Por último, salienta-se o facto desta actividade apresentar um altíssimo valor acrescentado. De facto, o metro cúbico de dragagem, entendido como a diferença entre os valores finais e iniciais dos bens obtidos no processo de produção, tem um alto valor acrescentado. O bem obtido é proveniente do trabalho humano, da operação do equipamento e do investimento efectuado.

2.2. Custos de uma Obra de Dragagem

De uma maneira geral, 65% dos custos nas obras de dragagem são fixos e 35% são variáveis. Estes

²dwt é a abreviatura de *deadweight tonnage* e corresponde ao peso que um determinado navio pode transportar em segurança.

valores são sensivelmente diferentes dos encontrados, por exemplo, na indústria da construção civil, onde 20% são custos fixos e 80% correspondem a custos variáveis. Isto conduz ao elevado valor acrescentado mencionado anteriormente.

A percentagem de custos fixos associados às obras de dragagem está relacionada com as próprias características dos elementos que intervêm no processo de dragagem. De facto, os trabalhadores são muito especializados e, na sua maioria, fixos. Outra componente fixa importante está associada ao custo da inactividade, ou seja, à necessidade de dispor de equipamentos com manutenção permanente e de portos de acostagem. Os custos financeiros também representam componentes fixos significativos, devido aos grandes investimentos que devem ser efectuados e dos quais advêm as consequentes amortizações.

De uma forma geral, os custos de uma dragagem englobam:

- a *mão-de-obra* é difícil de encontrar e, tal como referido, é maioritariamente fixa. O regime laboral de trabalho (em muitos casos 1/1, como comentado anteriormente), é caro, visto que requer 4 tripulações por draga (2 tripulações a trabalhar em 2 turnos e 2 de descanso);
- as *amortizações da maquinaria* devem ser realizadas de forma relativamente rápida. De facto, o tempo é um conceito permanentemente presente na indústria da dragagem, pela sua contínua e frequente necessidade de renovação de equipamentos, de forma a que sejam cada vez mais competitivos. Por exemplo, em 1994, o maior trailer tinha 12000m³, quinze anos depois, o tamanho quadruplicou (43000m³). Assim, a ocupação contínua do equipamento torna-se uma obrigatoriedade para a empresa de dragagem;
- com subidas anuais significativas dos prémios, os *seguros* representam também uma importante parcela nos custos de uma dragagem. De facto, a sinistralidade mundial em todos os campos da actividade conflui nas mesmas fontes de resseguros, o que se repercutem em todos os seguros;
- a actividade internacional da dragagem obriga a efectuar obras em lugares distantes e em zonas por vezes sub-desenvolvidas, obrigando, desta forma, a levar a bordo todos os meios que possam ser necessários numa reparação ou manutenção;
- o *desgaste* do equipamento é frequentemente mal interpretado pelos clientes. Os equipamentos de dragagem são sensíveis ao desgaste provocado pelos diferentes materiais que dragam. Assim, o custo de desgaste por m³ de dragagem em areias de 500 microns é 5 vezes superior à dragagem em lama, enquanto que a dragagem de blocos de 15cm custa cerca de 35 vezes mais. 60 a 65% do custo de uma dragagem é proporcionado pela maquinaria, 15 a 20% pela mão-de-obra e 20% representam custos indirectos e gerais (Figura I-11).

CUSTOS POR CONCEITOS

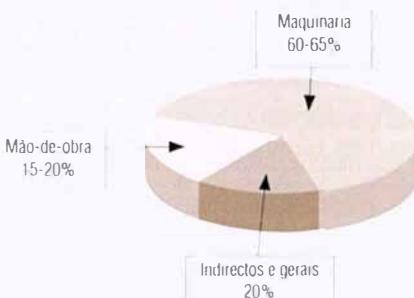


Figura I-11 Custos envolvidos numa dragagem

2.3. Riscos numa Obra de Dragagem Tipos de Contrato.

As obras de dragagem têm uma importante componente de risco que as tornam diferentes dos restantes tipos de obras. O primeiro motivo está relacionado com o facto de ser uma actividade desenvolvida no meio marinho, pelo que, toda a experiência adquirida em obras de escavação em terra não é aqui aplicável. A contínua atenção e cuidados que o meio marinho exige traduz-se num trabalho de 24 horas por dia, 7 dias por semana.

O risco está também associado à escassez dos dados disponíveis sobre a natureza do material a escavar, importante na planificação de uma obra de dragagem (ver Capítulo III-2). Assim, a definição do equipamento a utilizar e o cálculo das produções correspondentes contêm muitas incertezas associadas.

A curta duração das obras, devido à alta capacidade produtiva dos equipamentos, é um inconveniente face às situações de paragens por avaria e mau tempo. Muitas vezes, diante de tais circunstâncias, a curta duração das obras não permite a recuperação da perda económica provocada pela paragem. Também representa uma grande desvantagem o facto de se poder efectuar somente uma única unidade produtiva, que se traduz em falta de alternativa de trabalho se, por alguma circunstância, o equipamento não puder dragar.

Todos estes elementos fazem com que as obras de dragagem tenham um importante risco associado. Enquanto que o risco de lucro está limitado ao valor total do contrato, o risco de ruína pode ser, sem que hajam grandes precalços, duas ou três vezes o valor do contrato.

Tipos de contrato

No gráfico da Figura I.12 podem-se analisar os diferentes tipos de contrato abordados em função do risco que cada uma das partes intervenientes queira assumir



Figura I-12 Riscos associados a diferentes tipos de contrato.

Como se observa, os tipos de contrato variam entre as situações extremas de um simples aluguer, onde o preço mínimo leva ao risco máximo para o cliente e mínimo para o empreiteiro, ao preço fixo independente do volume a dragar, com risco mínimo para o cliente e máximo para o empreiteiro e, portanto, neste caso o preço é máximo.

Numa relação adequada entre cliente e empreiteiro, o risco deve situar-se sempre na parte que melhor o saiba controlar e gerir para que as suas consequências sejam as mínimas para todos.

2.4. Conclusões

De acordo com o exposto, as seguintes conclusões podem ser propostas

- Os equipamentos de dragagem são dispendiosos, uma vez que requerem grandes investimentos iniciais e apresentam elevados custos quer de exploração quer de mobilização;
- Os equipamentos de dragagem são sensíveis às condições ambientais de trabalho e ao tipo de material a dragar, pelo que as produções são incertas;
- O preço unitário corresponde à razão entre o elevado custo e a produção incerta, pelo que gera riscos para projectistas, clientes e dragadores;
- Um melhor conhecimento das técnicas representará uma redução dos riscos e das incertezas associadas ao processo de dragagem

3. Planeamento de Dragagens Portuárias

3.1. Introdução

3.1.1. Enquadramento

A realização de dragagens é, na grande maioria dos portos nacionais, uma condição indispensável à operacionalidade portuária e à segurança da navegação. A actividade tem, todavia, implicações económicas e ambientais. É, por isso, da maior importância a identificação e a partilha de boas práticas. O planeamento e a avaliação ambiental das intervenções de dragagem, a par da inovação técnica, da regulação e da fiscalização, podem ser instrumentos importantes no aperfeiçoamento das práticas seguidas. Interessa promover condições de equidade e de competitividade portuária, a nível interno e externo, mas também assegurar níveis elevados de protecção ambiental.

3.1.2. Objectivos

O presente texto tem como tema o planeamento de dragagens portuárias. Encontra-se estruturado da seguinte forma: aspectos da situação das dragagens em Portugal; aspectos do planeamento das dragagens e da gestão dos dragados; e algumas propostas sobre a evolução futura das dragagens portuárias.

3.2. Aspectos da Situação das Dragagens em Portugal

3.2.1. Sistema Portuário do Continente

O sistema portuário do Continente é constituído por nove portos comerciais, distinguindo-se cinco portos principais (Leixões, Aveiro, Lisboa, Setúbal e Sines) e quatro secundários (Viana do Castelo, Figueira da Foz, Portimão e Faro). Para além da valência comercial, na área de jurisdição destes portos desenvolvem-se também actividades de pesca, de recreio náutico e, em alguns casos, de cruzeiro (MOPTC, 2006).

A estes portos comerciais acrescem, no Continente, mais de duas dezenas de portos de pesca e de recreio (entre outros, Vila Praia de Âncora, Espinho, Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Nazaré, Peniche, Ericeira, Cascais, Oeiras, Baleeira, Lagos, Albufeira, Vilamoura, Quarteira, Olhão, Fuzeta, Santa

Luzia, Tavira, Cabanas e Vila Real de Santo António; Instituto Hidrográfico, 2008).

É a importância económica e social dos portos que, em última análise, justifica a realização de dragagens. No caso dos portos do Continente, essa importância pode ser avaliada pelos seguintes indicadores: 63 milhões de toneladas de carga movimentada por ano; 130 mil toneladas de pescado descarregado por ano; 7000 postos de acostagem da náutica de recreio; e 300 mil passageiros de cruzeiro por ano (MOPTC, 2006).

3.2.2. Legislação Ambiental Relevante

As dragagens portuárias são condicionadas por legislação ambiental, de âmbito e complexidade crescentes.

A classificação de materiais dragados, de acordo com o grau de contaminação, encontra-se regulamentada pela Portaria nº 1450/2007 de 12 de Novembro. Esta portaria mantém, no essencial, o sistema introduzido pelo Despacho Conjunto dos Ministérios do Ambiente e Recursos Naturais e do Mar de 21/06/1995. Define cinco classes: material limpo (classe 1), com contaminação vestigária (classe 2), ligeiramente contaminado (classe 3), contaminado (classe 4) e muito contaminado (classe 5; *vide Secção I-3.3.5*).

Destaca-se também a legislação que se refere à avaliação de impacte ambiental (Decreto-Lei nº 69/2000 de 3 de Maio, alterado pelo Decreto-Lei nº 197/2005 de 8 de Novembro), à conservação da natureza e áreas classificadas (Decreto-Lei nº 140/99 de 24 de Abril, alterado pelo Decreto-Lei nº 49/2005 de 24 de Fevereiro, e Decreto-Lei nº 142/2008 de 24 de Julho) e à utilização dos recursos hídricos (Lei nº 58/2005 de 29 de Dezembro e Decreto-Lei nº 226-A/2007 de 31 de Maio).

São também relevantes as linhas de orientação relativas à zona costeira (Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional, de 2006, e Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira, de 2009). A Lei nº 49/2006 de 29 de Agosto determina que a extração e dragagem de areias, efectuada a uma distância de até 1km para o interior a contar da linha de costa e até 1 milha náutica no sentido do mar, se deve destinar à alimentação artificial de praias mas aparentemente não se encontra regulamentada.

3.2.3. Alguns Dados Disponíveis

A informação sobre dragagens nos portos do Continente encontra-se dispersa, sendo por vezes difícil de obter. Com base em dados muito preliminares, estima-se que o volume total de dragagem, no período de 10 anos compreendido entre 1998 e 2007, tenha sido da ordem de 50 milhões de m³ (em média, 5x10⁶m³/ano).

Apresenta-se na Figura I-13 uma estimativa da importância relativa dos volumes de dragagem nos diferentes portos. O esforço de dragagem parece estar associado a diversos factores, incluindo a situação física do porto, a política de investimentos e outras decisões de gestão. O movimento comercial, por exemplo, não é directamente proporcional à importância dos volumes de dragagem (Figura I-14).

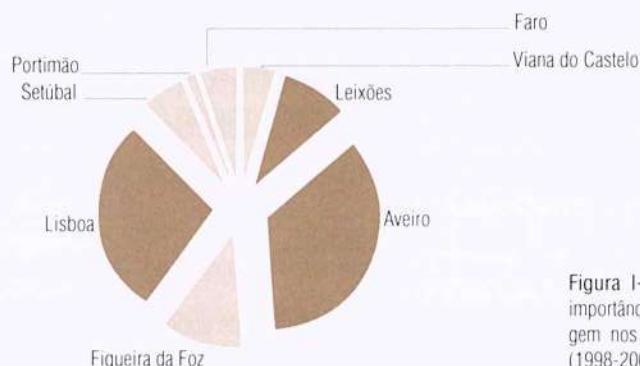


Figura I-13 - Dados preliminares sobre a importância relativa dos volumes de dragagem nos portos comerciais do Continente (1998-2007).



Figura I-14 - Importância relativa do movimento de mercadorias nos portos comerciais do Continente (2005).

A gestão dos materiais dragados varia também entre os diferentes portos. Parte da variação parece dever-se às características físicas de cada porto, sendo a restante parte explicada por decisões de gestão ou determinações exteriores. Assim, por exemplo:

- No Porto de Leixões, onde predominam as dragagens de manutenção, o principal destino dos materiais dragados é a imersão no mar. Parte das areias é utilizada na alimentação de praias, não se verificando a sua comercialização;

- No Porto de Aveiro, onde se realizaram grandes intervenções de 1º estabelecimento, os materiais dragados são maioritariamente arenosos. O seu principal destino tem sido a valorização económica e a utilização em aterros e obras portuárias;
- No Porto de Lisboa, onde predominam as dragagens de manutenção, os materiais dragados são maioritariamente silto-argilosos. O seu principal destino tem sido a imersão no sector inferior do estuário.

Embora os locais autorizados para a imersão de dragados no mar se situem geralmente a profundidades superiores a 40m, critério justificado com base na protecção dos recursos vivos marinhos, verifica-se que as distâncias destes locais às diferentes áreas portuárias podem variar entre 2 e 11 milhas náuticas (3.7 e 20.4km).

3.3. Aspectos do Planeamento e da Gestão das Dragagens

3.3.1. Tipo de Dragagem

Os portos são constituídos, não apenas por estruturas marítimas de abrigo, terminais e docas, mas também por canais de acesso e bacias de manobra e de estacionamento, com determinadas cotas de serviço (referidas ao ZH) e dimensões.

Estas cotas de serviço e dimensões dependem das funções do porto (comercial, de pesca, de recreio ou outro) e das características das embarcações a receber (comprimento, largura e, principalmente, calado máximo).

A nível nacional, tipicamente, os portos comerciais principais apresentam canais de acesso a cotas entre -14.0 e -12.0m ZH, os portos secundários canais de acesso a -8.0m ZH e os portos de pesca e de recreio canais de acesso até -6.0m ZH.

Distinguem-se dois tipos de dragagem:

- *Dragagens de 1º estabelecimento* - Ultrapassam cotas de fundo anteriores, naturais ou estabelecidas por dragagem. Envolvem, tendencialmente, sedimentos pouco perturbados, com menor grau de contaminação. Apresentam maior exigência na avaliação de impactes ambientais.
- *Dragagens de manutenção* - Contrariam o processo de assoreamento, mas não ultrapassam cotas de fundo anteriores. Envolvem, tendencialmente, sedimentos pouco consolidados, com maior probabilidade de contaminação. Apresentam menor exigência na avaliação de impactes ambientais.

Aparentemente, nos portos do Continente, nos últimos 10 anos, verificou-se um predomínio dos volumes de dragagem de manutenção (cerca de 70%) sobre os de 1º estabelecimento (cerca de 30%).

Esta proporção poderá reflectir o facto de, apesar do rápido aumento do transporte marítimo internacional, o sector marítimo-portuário, a nível nacional, ter apresentado taxas de crescimento relativamente modestas (MOPTC, 2006).

3.3.2. Locais de Dragagem

Os portos situam-se em ambientes costeiros ou em sistemas estuarinos e lagunares. Os primeiros estão sujeitos a assoreamento por efeito predominante da agitação marítima, os segundos por acção das correntes de maré e das afluências fluviais.

Os locais a dragar podem situar-se na barra e na zona exterior do porto ou, distintamente, em canais de acesso interiores, bacias de manobra e cais de acostagem. Em geral, os sedimentos na zona exterior são arenosos, enquanto que na zona interior se apresentam areno-lodosos, nos canais onde as correntes de maré atingem velocidade significativa, e lodosos (siltos-argilosos), nas áreas marginais.

3.3.3. Volumes de Dragagem

O processo de assoreamento das áreas dragadas traduz-se pela evolução da cota de fundo para a situação de equilíbrio, eventualmente dinâmico, anterior às dragagens.

Segundo Vicente e Uva (1985), em áreas dragadas sujeitas à deposição de sedimentos transportados em suspensão por correntes de maré, o processo de assoreamento pode ser descrito por uma expressão do tipo:

$$C(t) = C_o + (C_e - C_o)(1 - e^{-kt}) \quad (I-1)$$

em que $C(t)$ é a cota de fundo ao fim do tempo t , C_o é a cota a que foi efectuada a dragagem, C_e é a cota de equilíbrio e k é um coeficiente local, constante, a determinar. A expressão I-1 pressupõe que a taxa de assoreamento seja proporcional à variação da cota de fundo imposta pela dragagem. Esta expressão é particularmente útil na previsão de taxas de assoreamento quando se pondera a alteração da cota de dragagem. O procedimento a ser seguido consiste na determinação do coeficiente k e na definição da cota de equilíbrio C_e , com base na análise de levantamentos hidrográficos. Conhecidos estes parâmetros, podem ser estimadas taxas de assoreamento no primeiro ano após dragagem para diferentes cotas de dragagem C_o , utilizando a expressão I-1, com $t = 1$ ano.

Aplicações em canais na Ria de Aveiro e no estuário do Tejo indicam que valores de k da ordem de

0.1 ano^{-1} (equivalente a um assoreamento de cerca de 10% da altura $C_e - C_o$ no primeiro ano) não são incomuns. Porém, em áreas sujeitas a forte assoreamento por sedimentos finos, silto-argilosos, como sucede no sector superior do estuário do Tejo (por exemplo, na doca de Poço do Bispo), podem ser obtidos k da ordem de 0.7 ano^{-1} (assoreamento de 50% da altura $C_e - C_o$ no primeiro ano).

3.3.4. Composição dos Dragados

Entende-se por composição granulométrica de um sedimento a distribuição, expressa em massa, das partículas constituintes desse sedimento. A especificação LNEC E196-1966 discrimina as fracções granulométricas indicadas na Tabela I-1.

Tabela I-1 · Fracções granulométricas (Especificação LNEC E196-1966).

Sedimento	Fracção	(mm)
Não-coesivo	Cal hau	> 60
	Seixo gr osso	60 a 20
	Seixo médio	20 a 6
	Seixo fino	6 a 2
	Areia grossa	2 a 0.6
	Areia média	0.6 a 0.2
	Areia fina	0.2 a 0.06
Coesivo	Silte grosso	0.06 a 0.02
	Silte médio	0.02 a 0.006
	Silte fino	0.006 a 0.002
	Argila	< 0.002

Em geral, distinguem-se duas grandes classes de sedimentos:

- *Sedimentos finos, coesivos* – Constituídos por silte e argila (<0.06mm), apresentam um carácter coesivo devido principalmente à fracção argila. É frequente a utilização do termo lodo, aplicado a sedimentos silto-argilosos com matéria orgânica e em estado próximo do fluido.
- *Sedimentos não-coesivos* – Constituídos por areia e seixo (>0.06mm), apresentam um comportamento menos complexo, determinado pela granulometria.

Em dragagens de 1º estabelecimento, os sedimentos finos podem apresentar-se muito consolidados (argila compacta ou *mudstone*), obrigando à utilização de equipamentos hidráulicos com capacidade de corte ou mecânicos.

3.3.5. Qualidade dos Dragados

A classificação dos materiais dragados de acordo com o grau de contaminação encontra-se regulamentada pela Portaria nº 1450/2007 de 12 de Novembro. Esta portaria mantém, no essencial, o sistema introduzido pelo Despacho Conjunto de 1995, surgido da necessidade de dar cumprimento à Convenção OSPAR relativamente à imersão no mar.

Distinguem-se cinco classes (Tabela I-2). O material de classe 1 pode ser depositado no meio aquático ou utilizado para alimentação de praias sem normas restritivas. O material de classe 2 pode ser imerso no meio aquático tendo em atenção as características do meio receptor. O material de classe 3 no caso de imersão necessita de estudo aprofundado do local e monitorização posterior do mesmo. O material de classe 4 deve ser depositado em terra, em local impermeabilizado. O material de classe 5 idealmente não deverá ser dragado.

Até à publicação da Portaria nº 1450/2007, a autoridade nacional para a imersão de materiais dragados no mar era o Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos.

Tabela I-2 - Classificação de materiais dragados de acordo com o grau de contaminação:
metals (mg/kg); compostos orgânicos (µg/kg).

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Arsénio (As)	<20	20 - 50	50 - 100	100 - 500	> 500
Cádmio (Cd)	<1	1 - 3	3 - 5	5 - 10	> 10
Crómio (Cr)	<50	50 - 100	100 - 400	400 - 1000	> 1000
Cobre (Cu)	<35	35 - 150	150 - 300	300 - 500	> 500
Mercúrio (Hg)	<0.5	0.5 - 1.5	1.5 - 3.0	3.0 - 10	> 10
Chumbo (Pb)	<50	50 - 150	150 - 500	500 - 1000	> 1000
Níquel (Ni)	<30	30 - 75	75 - 125	125 - 250	> 250
Zinco (Zn)	<100	100 - 600	600 - 1500	1500 - 5000	> 5000
PCB (soma)	<5	5 - 25	25 - 100	100 - 300	> 300
PAH (soma)	<300	300 - 2000	2000 - 6000	6000 - 20000	> 20000
HCB	<0.5	0.5 - 2.5	2.5 - 10	10 - 50	> 50

3.3.6. Locais de Depósito dos Dragados

Os principais destinos dos materiais dragados são a imersão no mar, a imersão em águas de transição, a colocação em praias, a utilização em aterros e obras portuárias e a valorização económica.

A *imersão no mar* é o destino habitual dos materiais lodosos e areno-lodosos. É também uma solução

em conformidade com a Portaria nº 1450/2007 para os materiais arenosos de classes de contaminação 2 e 3. Os locais de imersão no mar são determinados pela autoridade competente, atendendo, nomeadamente, à existência de zonas definidas de produção de moluscos bivalves entre a linha de costa e a batimétrica dos 40m (Despacho nº 16 167/2005, de 25 de Julho, do INIAP). Quanto maior a distância entre os locais de dragagem e os locais de imersão, maiores os custos envolvidos.

A nível nacional, a *imersão em águas de transição* apenas se verifica no sector inferior do estuário do Tejo, para materiais de classe 1 e 2. Esta solução, normalmente rejeitada com base em critérios biológicos e químicos, poderá, em situações específicas, ser interessante do ponto de vista hidromorfológico.

A *colocação em praias* deve ser o destino preferencial das areias dragadas em barras e canais de navegação (Figura I-15). Existe um consenso técnico quanto à conveniência de se proceder à reposição total ou parcial dessas areias no sistema dinâmico da zona costeira, sendo também certo que a opção tem implicações económicas. A sua viabilização poderá exigir um reforço da cooperação institucional entre as autoridades portuárias e as autoridades ambientais e a celebração de protocolos de financiamento das intervenções de alimentação artificial.

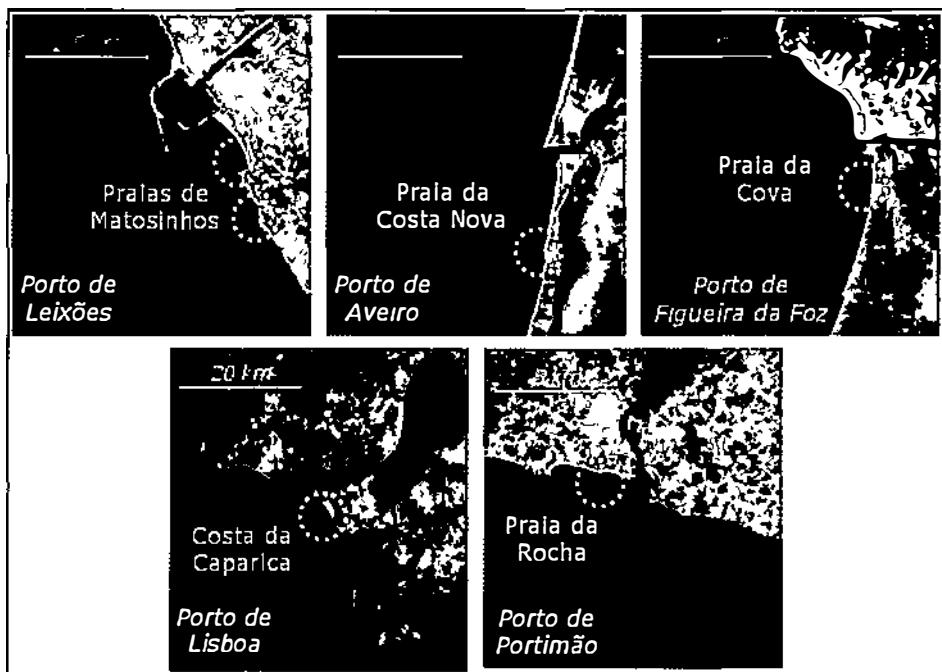


Figura I-15 · Exemplos de locais onde se realizaram, ou se prevêem realizar, operações de alimentação artificial de praias.

Existem vários exemplos do aproveitamento de materiais arenosos na execução de aterros e obras portuárias, nas últimas décadas. A valorização económica dos materiais arenosos tem também sido prática corrente em diversas áreas portuárias. Porém, entende-se não ser adequado que se proceda à comercialização de areias dragadas em áreas portuárias sem ter em consideração os seus efeitos na zona costeira. A valorização económica poderá, todavia, ser adequada no caso de materiais arenosos que não satisfazem os requisitos de qualidade estabelecidos para a alimentação de praias. O volume de materiais dragados depositados em terra, em aterro de resíduos, tem sido aparentemente muito reduzido.

3.4. Considerações Finais

3.4.1. Síntese

As dragagens permitem que as áreas portuárias ofereçam condições de operacionalidade e de segurança para a navegação. Interessa, porém, às administrações portuárias, mas também às entidades que regulam e fiscalizam o sector, procurar aperfeiçoar continuamente as práticas seguidas, de forma a minimizar os encargos económicos e, simultaneamente, assegurar níveis elevados de protecção ambiental.

3.4.2. Recomendações

A título de exemplo, o aperfeiçoamento das práticas seguidas pode, eventualmente, passar pelos seguintes aspectos ambientais:

- Reforçar a articulação com as autoridades ambientais, nomeadamente com as que asseguram a gestão de áreas classificadas;
- Proceder à reposição total ou parcial das areias dragadas em barras e canais de navegação no sistema dinâmico da zona costeira;
- Privilegiar a eliminação da contaminação na fonte, de modo que o material a dragar possa ser gerido de forma mais simples e económica;
- Evitar a afectação de património arqueológico subaquático.

Em relação aos aspectos técnico-económicos, pode propor-se:

- Promover condições de flexibilidade na realização das dragagens, de forma a intervir apenas quando necessário, à escala necessária;
- Analisar a viabilidade de novos métodos de dragagem, nomeadamente métodos em que o material de fundo seja apenas fluidificado;
- Analisar a viabilidade de, em certas áreas, adoptar medidas de controlo da sedimentação comple-

mentares às dragagens;

- Analisar a viabilidade de, em certas áreas, relocalizar os sedimentos silto-argilosos no próprio sistema;
- Executar as dragagens, na proximidade de estruturas marítimas e portuárias, com o resguardo devido e a cotas adequadas à sua segurança.

Carlos A. A. Caxaria
José Silva Pereira

Direcção-Geral de Energia e Geologia

4. Enquadramento Legislativo sobre os Recursos Geológicos

4.1. Introdução

Nesta abordagem ao enquadramento legislativo sobre o aproveitamento de depósitos minerais na plataforma continental entende-se adequado optar pela locução “recursos geológicos” tendo por base a terminologia qualificativa legal quanto a determinados bens naturais³.

Por outro lado, entende-se que esses bens não devem ser somente considerados em função do seu valor pecuniário mas, primacialmente, por uma perspectiva mais ampla encarando os recursos geológicos como elementos constituintes de uma realidade que globalmente se encontra agregada num conjunto que se pode denominar como “Património Geológico”.

Daqui decorre que, apesar de ser possível estabelecer diferentes sistematizações na agregação das diversas funções que cabem a este tipo de recursos naturais, se revele operativamente apropriado enumerar as principais vertentes estabelecendo a seguinte sinopse, como indicado na Tabela I-3.

Tabela I-3 - Recursos Geológicos.

Função	Objectivo	Intervenção
Conhecimento	Identificação dos recursos geológicos nacionais	Prospecção e pesquisa Estudos
Conservação	Salvaguarda económica	Exploração do recurso em função do critério de oportunidade ou necessidade
	Salvaguarda do valor científico e geológico	Proposta de classificação
Valorização	Utilização do recurso	Concessões minerais, concessões de águas minero-industriais e minerais, concessões geotérmicas, exploração de águas de nascente, exploração de pedreiras Outros aproveitamentos não decorrentes da exploração directa do recurso

³Cfr. Artigo 1.º do Decreto-Lei n.º 90/90, de 16 de Março, que expressa: “O presente diploma disciplina o regime jurídico de revelação e aproveitamento de bens naturais existentes na crosta terrestre, genericamente designados por recursos geológicos, integrados ou não no domínio público, com excepção das ocorrências de hidrocarbonetos”.

Para uma melhor focalização do tema que se propõe abordar, procuram-se as especificidades do enquadramento jurídico dos recursos geológicos sitos no mar, efectuando um breve percurso pelo direito internacional e comunitário para depois se centrar no direito interno.

4.2. Direito Internacional

Em matéria de Direito Internacional importa realçar, de uma forma simplificada, que a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM) procede a distinções básicas que se reportam a 3 tipos de poderes por parte do Estado: soberania⁴, jurisdição⁵ e aproveitamento de recursos⁶, respetivamente às 12, 24 e 200 milhas marítimas ou náuticas.

⁴Até às 12 milhas marítimas - soberania nacional - Limites do mar territorial

Artigo 3.º - Largura do mar territorial

Todo o Estado tem o direito de fixar a largura do seu mar territorial até um limite que não ultrapasse 12 milhas marítimas, medidas a partir de linhas de base determinadas de conformidade com a presente.

⁵Das 12 às 24 milhas marítimas - jurisdição nacional

Artigo 33.º - Zona contígua

1. Numa zona contígua ao seu mar territorial, denominada «zona contígua», o Estado costeiro pode tomar as medidas de fiscalização necessárias a: a) Evitar as infracções às leis e regulamentos aduaneiros, fiscais, de imigração ou sanitários no seu território ou no seu mar territorial; b) Reprimir as infracções às leis e regulamentos no seu território ou no seu mar territorial.

2. A zona contígua não pode estender-se além de 24 milhas marítimas, contadas a partir das linhas de base que servem para medir a largura do mar territorial.

⁶Das 24 às 200 milhas marítimas - aproveitamento de recursos

Artigo 55.º - Regime jurídico específico da zona económica exclusiva

A zona económica exclusiva é uma zona situada além do mar territorial e a este adjacente, sujeita ao regime jurídico específico estabelecido na presente parte, segundo o qual os direitos e a jurisdição do Estado costeiro e os direitos e liberdades dos demais Estados são regidos pelas disposições pertinentes da presente Convenção.

Artigo 56.º - Direitos, jurisdição e deveres do Estado costeiro na zona económica exclusiva

1. Na zona económica exclusiva, o Estado costeiro tem: a) Direitos de soberania para fins de exploração e aproveitamento, conservação e gestão dos recursos naturais, vivos ou não vivos, das águas sobrejacentes ao leito do mar, do leito do mar e seu subsolo e no que se refere a outras actividades com vista à exploração e aproveitamento da zona para fins económicos, como a produção de energia a partir da água, das correntes e dos ventos; b) Jurisdição, de conformidade com as disposições pertinentes da presente Convenção, no que se refere a: i) Colocação e utilização de ilhas artificiais, instalações e estruturas; ii) Investigação científica marinha; iii) Protecção e preservação do meio marinho; c) Outros direitos e deveres previstos na presente Convenção.

2. No exercício dos seus direitos e no cumprimento dos seus deveres na zona económica exclusiva nos termos da presente Convenção, o Estado costeiro terá em devida conta os direitos e deveres dos outros Estados e agirá de forma compatível com as disposições da presente Convenção.

3. Os direitos enunciados no presente artigo referentes ao leito do mar e ao seu subsolo devem ser exercidos de conformidade

Artigo 57.º - Largura da zona económica exclusiva.

A zona económica exclusiva não se estenderá além de 200 milhas marítimas das linhas de base a partir das quais se mede a largura do mar territorial.

Acresce que Portugal pretende a extensão da Plataforma Continental para além das 200 milhas pelo que submeteu uma proposta à Comissão de Limites da Plataforma Continental, órgão constituído no âmbito da CNUDM⁷.

⁷Artigo 76.º - Definição da Plataforma Continental

1. A Plataforma Continental de um Estado costeiro comprehende o leito e o subsolo das áreas submarinas que se estendem além do seu mar territorial, em toda a extensão do prolongamento natural do seu território terrestre, até ao bordo exterior da margem continental ou até uma distância de 200 milhas marítimas das linhas de base a partir das quais se mede a largura do mar territorial, nos casos em que o bordo exterior da margem continental não atinja essa distância.

2. A Plataforma Continental de um Estado costeiro não se deve estender além dos limites previstos nos nºs 4 a 6.

3. A margem continental comprehende o prolongamento submerso da massa terrestre do Estado costeiro e é constituída pelo leito e subsolo da Plataforma Continental, pelo talude e pela elevação continentais. Não comprehende nem os grandes fundos oceânicos, com as suas cristas oceânicas, nem o seu subsolo.

4. a) Para os fins da presente Convenção, o Estado costeiro deve estabelecer o bordo exterior da margem continental, quando essa margem se estender além das 200 milhas marítimas das linhas de base, a partir das quais se mede a largura do mar territorial, por meio de: i) Uma linha traçada de conformidade com o n.º 7, com referência aos pontos fixos mais exteriores em cada um dos quais a espessura das rochas sedimentares seja pelo menos 1% da distância mais curta entre esse ponto e o pé do talude continental; ou ii) Uma linha traçada de conformidade com o n.º 7, com referência a pontos fixos situados a não mais de 60 milhas marítimas do pé do talude continental. b) Salvo prova em contrário, o pé do talude continental deve ser determinado como o ponto de variação máxima do gradiente na sua base.

5. Os pontos fixos que constituem a linha dos limites exteriores da Plataforma Continental no leito do mar, traçada de conformidade com as subalíneas i) e ii) da alínea a) do n.º 4, devem estar situados a uma distância que não exceda 350 milhas marítimas da linha de base a partir da qual se mede a largura do mar territorial ou uma distância que não excede 100 milhas marítimas de isóbala de 2500m, que é uma linha que une profundidades de 2500m.

6. Não obstante as disposições do n.º 5, no caso das cristas submarinas, o limite exterior da Plataforma Continental não deve exceder 350 milhas marítimas das linhas de base a partir das quais se mede a largura do mar territorial. O presente número não se aplica a elevações submarinas que sejam componentes naturais da margem continental, tais como os seus planaltos, elevações continentais, topes, bancos e esporões.

7. O Estado costeiro deve traçar o limite exterior da sua Plataforma Continental, quando esta se estender além de 200 milhas marítimas das linhas de base a partir das quais se mede a largura do mar territorial, unindo, mediante linhas rectas que não excedam 60 milhas marítimas, pontos fixos definidos por coordenadas de latitude e longitude.

8. Informações sobre os limites da Plataforma Continental, além das 200 milhas marítimas das linhas de base a partir das quais se mede a largura do mar territorial, devem ser submetidas pelo Estado costeiro à Comissão de Limites da Plataforma Continental, estabelecida de conformidade com o anexo II, com base numa representação geográfica equitativa. A Comissão fará recomendações aos Estados costeiros sobre questões relacionadas com o estabelecimento dos limites exteriores da sua Plataforma Continental. Os limites da Plataforma Continental estabelecidos pelo Estado costeiro com base nessas recomendações serão definitivos e obrigatórios.

9. O Estado costeiro deve depositar junto do Secretário-Geral das Nações Unidas mapas e informações pertinentes, incluindo dados geodésicos, que descrevam permanentemente os limites exteriores da sua Plataforma Continental. O Secretário-Geral deve dar a esses documentos a devida publicidade.

10. As disposições do presente artigo não prejudicam a questão da delimitação da Plataforma Continental entre Estados com costas adjacentes ou situadas frente a frente.

É inegável que a importância do alargamento da Plataforma Continental tem subjacente os recursos naturais que ali possam existir e, de entre eles, afiguram-se relevantes os recursos minerais⁸.

4.3. Direito Comunitário

A matéria relativa aos recursos geológicos é uma atribuição nacional (Releva para os minerais não energéticos, pois relativamente aos energéticos recorde-se, tão só, a instituição da CECA - Comunidade Europeia do Carvão e do Aço e da CEEA - Comunidade Europeia da Energia Atómica).

No entanto, tal como em outras actividades, há que atender a outras matérias que cabem no âmbito das atribuições, usualmente designadas por competências, exclusivas ou partilhadas da UE.

No que aos Tratados diz respeito saliente-se, desde logo, que o artigo 6.º do TCE estabelece a integração das exigências em matéria de protecção do ambiente nas políticas comunitárias com o objectivo de promover o desenvolvimento sustentável o que possibilita a conexão de legislação aplicável nomeadamente directivas no domínio dos resíduos, da água, da qualidade do ar, da conservação da natureza, da avaliação de impacte ambiental e, ainda, na saúde e segurança no trabalho⁹.

⁸Artigo 77.º - Direitos do Estado costeiro sobre a Plataforma Continental

1. O Estado costeiro exerce direitos de soberania sobre a Plataforma Continental para efeitos de exploração e aproveitamento dos seus recursos naturais.

2. Os direitos a que se refere o n.º 1 são exclusivos, no sentido de que, se o Estado costeiro não explora a Plataforma Continental ou não aproveita os recursos naturais da mesma, ninguém pode empreender estas actividades sem o expresso consentimento desse Estado.

3. Os direitos do Estado costeiro sobre a Plataforma Continental são independentes da sua ocupação, real ou fictícia, ou de qualquer declaração expressa.

4. Os recursos naturais a que se referem as disposições da presente parte são os recursos minerais e outros recursos não vivos do leito do mar e subsolo, bem como os organismos vivos pertencentes a espécies sedentárias, isto é, aquelas que no período de captura estão imóveis no leito do mar ou no seu subsolo ou só podem mover-se em constante contacto físico com esse leito ou subsolo.

⁹Breve referência meramente exemplificativa a esses instrumentos legais:

Saúde e segurança no trabalho:

Directiva 89/391/CEE do Conselho, de 12/06/1989: relativa à aplicação de medidas destinadas a promover a melhoria da segurança e da saúde dos trabalhadores no trabalho

Directiva 92/104/CEE do Conselho, de 03/12/1992: relativa às prescrições mínimas destinadas a melhorar a protecção em matéria de segurança e saúde dos trabalhadores das indústrias extractivas a céu aberto ou subterrâneas que estabelece disposições específicas para a indústria extractiva

AIA:

Directiva 85/337/CEE do Conselho, de 27.6.1985, relativa à avaliação dos efeitos de determinados projectos públicos e privados no ambiente, com a redacção dada pela Directiva 97/11/CE do Conselho, de 3.3.1997

Controlo da poluição:

Directiva 96/61/CE do Conselho, de 24.9.1996, relativa à prevenção e controlo integrados da poluição (IPPC) que abrange o tratamento de minerais, nomeadamente as instalações para a produção de metais brutos não ferrosos a partir de minérios abrangidas pelo anexo I - categoria 2.5.a. As actividades englobadas por esta directiva devem contribuir para a prevenção e redução da poluição

Significativo, ainda que no plano orientador, apresenta-se uma Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu e ao Conselho, denominada Iniciativa Matérias-Primas, que traduz preocupações europeias no domínio dos recursos geológicos¹⁰.

4.4. Direito Nacional

Em primeiro lugar refira-se que os recursos geológicos se inserem tendencialmente numa categoria de bens integrantes do domínio público constitucionalmente contemplados na revisão de 1989¹¹.

mediante recurso às melhores técnicas disponíveis (MTD).

Ecogestão e auditoria (EMAS):

Regulamento (CEE) nº 1836/93 do Conselho, de 29.6.1993, que permite a participação voluntária das empresas do sector industrial num sistema comunitário de ecogestão e auditoria.

Conservação da Natureza:

Directiva 79/409/CEE do Conselho, de 2.4.1979, relativa à conservação das aves selvagens e Directiva 92/43/CE do Conselho, de 21.5.1992, relativa à preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens.

Resíduos

A Directiva 75/442/CEE com a redacção dada pela Directiva 91/156/CEE aplicável aos resíduos derivados da prospecção, extração, tratamento e armazenagem de recursos minerais e da exploração de pedreiras, dado que não se encontravam, até à data, abrangidas por outra legislação comunitária.

Directiva 1999/31/CE do Conselho, de 26.4.1999, relativa à deposição de resíduos em aterros.

No domínio dos resíduos releva actualmente a Directiva 2006/21/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 15 de Março de 2006 relativa à gestão dos resíduos de indústrias extractivas e que altera a Directiva 2004/35/CE (encontra-se em fase de transposição e de pré-contencioso comunitário).

Outros:

Directiva-Quadro da Água; Directiva da Avaliação Ambiental Estratégica, Directiva-Quadro Estratégia Marinha, Directiva responsabilidade ambiental.

Águas minerais naturais:

Directiva 80/777/CEE do Conselho de 15 de Julho de 1980 relativa à aproximação de legislações dos Estados-membros respeitantes à exploração e à comercialização de águas minerais naturais, alterada por Directiva 80/1276/CEE do Conselho de 22 de Dezembro de 1980, Directiva 85/7/CEE do Conselho de 19 de Dezembro de 1984 e Directiva 96/70/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 28 de Outubro de 1996.

¹⁰Iniciativa «Matérias-Primas» – atender às necessidades críticas para assegurar o crescimento e o emprego na Europa – Bruxelas, 4.11.2008 COM(2008) 699 final.

¹¹Cfr. Constituição da República Portuguesa

Artigo 84.^º - Domínio público

1. Pertencem ao domínio público: a) As águas territoriais com os seus leitos e os fundos marinhos contíguos, bem como os lagos, lagoas e cursos de água navegáveis ou flutuáveis, com os respectivos leitos; b) As camadas aéreas superiores ao território acima do limite reconhecido ao proprietário ou superficiário; c) Os jazigos minerais, as nascentes de águas mineromedicinais, as cavidades naturais subterrâneas existentes no subsolo, com exceção das rochas, terras comuns e outros materiais habitualmente usados na construção; d) As estradas; e) As linhas férreas nacionais; f) Outros bens como tal classificados por lei.

2. A lei define quais os bens que integram o domínio público do Estado, o domínio público das regiões autónomas e o domínio público das autarquias locais, bem como o seu regime, condições de utilização e limites.

Obviamente que a densificação do regime jurídico dos recursos geológicos coube ao legislador comum tendo havido lugar a uma autorização legislativa¹² que resultou na aprovação do Decreto-Lei n.º 90/90, de 16 de Março. Este diploma apresenta-se como uma lei-quadro ou lei de bases dos recursos geológicos complementada por legislação específica a cada um dos recursos geológicos enumerados no artigo 1.^º¹³.

Em termos de conceito destacam-se os depósitos minerais pois é feita referência à sua localização nos fundos marinhos da Zona Económica Exclusiva¹⁴.

Tem-se pois que o regime jurídico da revelação e aproveitamento dos recursos geológicos é estabelecido no Decreto-Lei n.º 90/90, de 16 de Março, sendo que o seu âmbito abrange os recursos geológicos integrados ou não no domínio público do Estado.

Para além desta diferenciação entre recursos que integram ou não o "domínio público geológico do Estado", refira-se que o artigo 51.^º¹⁵ desta lei-quadro remete para regulamentação própria cada uma das categorias de recursos geológicos.

O que até agora se disse deixa claramente transparecer a existência de um domínio público geológico no território nacional que se estende no mar à Zona Económica Exclusiva. Na vertente do mar há desde logo uma sobreposição com outros bens que também se inserem no domínio público do Estado, como seja o domínio público marítimo.

¹²Cfr. Lei n.º 13/89, de 29 de Junho - Autorização legislativa para o Governo legislar relativamente ao aproveitamento dos recursos geológicos e legislação complementar.

¹³Artigo 1º – Âmbito de Aplicação

1. O presente diploma disciplina o regime jurídico de revelação e aproveitamento de bens naturais existentes na crosta terrestre, genericamente designados por recursos geológicos, integrados ou não no domínio público, com excepção das ocorrências de hidrocarbonetos (lei específica).

2. Integram-se no domínio público do Estado os recursos geológicos que no presente diploma são designados por: a) Depósitos minerais; b) Recursos hidrominerais; c) Recursos geotérmicos.

3. Não se integram no domínio público do Estado, podendo ser objecto de propriedade privada ou outros direitos reais, os recursos geológicos que no presente decreto-lei são designados por: a) Massas minerais; b) Águas de nascente.

¹⁴Artigo 2º

Depósitos minerais

1. Para efeitos do presente diploma, entende-se por depósitos minerais todas as ocorrências minerais existentes em território nacional e nos fundos marinhos da Zona Económica Exclusiva que, pela sua raridade, alto valor específico ou importância na aplicação em processos industriais das substâncias nelas contidas, se apresentam com especial interesse para a economia nacional.

2. Ao aproveitamento de depósitos minerais existentes em fundos marinhos da Zona Económica Exclusiva são aplicáveis as disposições do presente decreto-lei e demais legislação especial.

¹⁵Artigo 51.^º – Regulamentação

Cada uma das categorias de recursos geológicos previstas no artigo 1.^º será objecto de regulamentação própria, a aprovar por decreto-lei.

É neste plano de sobreposição de regimes que ganha alguma especificidade a matéria respeitante aos recursos geológicos pois estes tanto poderão ser qualificados no domínio geológico, em função da sua natureza, como no domínio marítimo, em função da respectiva localização.

Neste contexto, por um lado, sendo a exploração de um recurso geológico mais uma actividade de gestão de um determinado bem constituinte do domínio público geológico, com inerentes alterações do conteúdo e da forma, considera-se que haverá lugar a um contrato de concessão sendo neste caso competente a DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia¹⁶. Por outro lado, sendo a exploração de um recurso geológico uma actividade de gestão de um determinado bem constituinte do domínio público não geológico, fica dependente das especificidades desse outro domínio, como seja o domínio público hídrico¹⁷ e nesse caso poderá haver lugar a um licenciamento que será, ou deverá ser, instrumental na gestão do bem água.

Quer isto dizer que o estatuto de dominialidade não deve ser desconexo com a possibilidade de utilização e exploração de bens dominiais e que a Administração exerce os seus poderes atendendo à funcionalidade desempenhada por esses diferentes bens. Daqui decorre a existência, num mesmo espaço territorial, de diferentes regimes de dominialidade que exigem um esforço acrescido de compatibilização das atribuições e competências de distintas entidades públicas.

Veja-se pois mais detidamente a questão respeitante ao estatuto de dominialidade decorrente da localização em área do domínio público marítimo tendo em conta a lei quadro do regime jurídico de revelação e aproveitamento dos recursos geológicos – Decreto-Lei n.º 90/90, de 16 de Março. A um primeiro nível importa destacar que, salvo melhor opinião, o presente regime jurídico, atendendo ao respectivo preâmbulo, visa regular toda a matéria respeitante aos recursos geológicos o que, independentemente das revogações expressas no artigo 54.º, traduz uma revogação global de toda a anterior legislação. Seguidamente importa, sobretudo, atender ao âmbito da aplicação desse diploma que, no n.º 1 do artigo 1.º, exclui os hidrocarbonetos e se refere aos recursos geológicos integrados ou não no domínio público. Em termos sistemáticos constata-se que o n.º 2 estabelece uma regra geral que qualifica os recursos que integram o domínio público e que o n.º 3 estabelece uma regra especial em relação à anterior, porque não contraria substancialmente o princípio nela contido mas, tão só, considera circunstâncias particulares de viabilização de propriedade privada e outros direitos reais de alguns

¹⁶Cfr. Lei orgânica - Decreto-Lei n.º 139/2007, de 27 de Abril.

¹⁷Cfr. Utilizações que se localizem na água, na margem ou no leito referidas na Lei n.º 58/2005, de 29/de Dezembro, e Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio, no que se reporta à extração de inertes.

recursos geológicos, que implicam a sua não integração no domínio público do Estado. Assim, as massas minerais e as águas de nascente existentes em propriedade privada mantêm-se nesse âmbito e consequentemente dentro dos poderes e faculdades inerentes a esse estatuto ainda que dependentes de um acto administrativo que, no âmbito dos recursos geológicos, lhes confira o direito de revelação e de exploração desses recursos, o que de algum modo denota o princípio geral de dominialidade pública dos recursos geológicos.

O exposto deixa claro que as massas minerais e as águas de nascente não integram o domínio público do Estado pela sua natureza mas que podem integrar esse mesmo domínio quer pela sua natureza residual quer pela sua localização, sendo pois de considerar que a existência desses recursos não acarreta obrigatoriamente a plenitude inerente ao estatuto de dominialidade dos recursos geológicos mormente quanto a direitos reais. Tem-se assim que a regra qualificativa especial do n.º 3 do artigo 1º, não é aplicável aos recursos geológicos que ocorram em áreas do domínio público do Estado, designadamente no domínio público marítimo, pois estes recursos são obrigatoriamente enquadrados pelo estatuto de dominialidade sem que haja necessidade de se proceder a essa qualificação pela natureza do recurso.

O que se deixa dito, permite entrever que os recursos geológicos foram perspectivados pelo legislador como bens públicos e, para situações particulares, como bens privados de interesse público. Assim as categorias de massas minerais e águas de nascente são categorias residuais no sentido de não se integrarem nas categorias de depósitos minerais e recursos hidrominerais sendo que, caso ocorram em propriedade privada, são passíveis de, em determinadas circunstâncias e cumpridos determinados procedimentos serem qualificadas nessas categorias. Daqui decorre que esses recursos são reconduíveis a essas categorias pelo que, se ocorrerem em domínio público, é aplicável, sem necessidade de qualquer outra qualificação, o regime dos depósitos minerais ou dos recursos hidrominerais e, neste último caso, face ao uso previsto, aplicar-se-á o das águas mineroindustriais ou o das águas minerais.

Tem-se pois uma primeira conclusão no que se refere à indústria extractiva no espaço marítimo nacional que é a aplicação do regime jurídico da revelação e aproveitamento dos recursos geológicos, Decreto-Lei n.º 90/90, de 16 de Março, e dos depósitos minerais, Decreto-Lei n.º 88/90, de 16 de Março. Em reforço desta posição acresce a qualificação como depósitos minerais das areias, cascalhos e outros agregados marinhos do leito e subsolo do mar territorial e Plataforma Continental concretizada por Despacho nos termos do artigo 3.º, n.º 4, do supracitado Decreto-Lei n.º 88/90¹⁸.

¹⁸Cfr. Despacho n.º 10320/2005 - DR - II série de 9 de Maio de 2005.

Por uma outra perspectiva é ainda de referir que a indústria extractiva poderá ainda ser uma actividade que resulte de uma outra actividade relacionada com a gestão do meio hídrico e, assim sendo, propugna-se pela aplicação do regime relativo à extracção de inertes.

Importa pois concatenar o regime dos recursos geológicos com o regime hídrico, mormente com a Lei da Água, Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, e procurar a unidade do sistema jurídico. Desde logo releva o escopo desta Lei que, enquanto transposição da directiva comunitária, tem como objectivos fundamentais a promoção da qualidade da água e no plano quantitativo a garantia do uso sustentável da água. Assim a estrutura da lei é marcada por estes objectivos de qualidade e de gestão.

Em termos gerais, nas águas marinhas, haverá pois que atender a bens naturais classificados como recursos geológicos ou como recursos hídricos e aos respectivos regimes jurídicos.

No tocante aos recursos geológicos já foram supra pronunciados quanto à legislação aplicável. No que se refere aos recursos hídricos importa agora indagar da respectiva aplicação nomeadamente quanto ao artigo 60.º que expressamente prevê a extracção de inertes.

Numa primeira aproximação à concatenação de regimes é de realçar que o estatuto da dominialidade tanto abrange os recursos geológicos como os recursos hídricos. Assim, em princípio, tanto uns como outros não se absorvem entre si nem implicam exclusão de uns a favor de outros. Dito isto, o que está em causa é em que medida a utilização ou exploração desses recursos colocam em causa os outros recursos igualmente protegidos legalmente.

Neste contexto, procure-se a interpretação mais adequada para o expresso no n.º 1 do artigo 60.º, inserido no capítulo da utilização dos recursos hídricos, quanto à referência da extracção de inertes enquanto utilização privativa dos recursos hídricos e sujeição a licença prévia. Tal referência é compreensível atendendo ao âmbito de aplicação deste diploma que, para além dos recursos hídricos, abrange "os respectivos leitos e margens, bem como as zonas adjacentes, zonas de infiltração máxima e zonas protegidas", conforme n.º 1 do artigo 2.º, sendo que, todavia, o n.º 2 refere que a "presente lei não prejudica a aplicação dos regimes especiais" elencando, exemplificativamente, alguns regimes directamente conexos com os recursos hídricos. Assim as areias são simultaneamente leito e recurso geológico de onde resulta que a legislação respeitante aos recursos geológicos seja tida como legislação especial em relação à legislação dos recursos hídricos e, por outra perspectiva, a legislação hídrica é especial em relação à legislação geológica.

Assim sendo a extracção de inertes tanto pode ser uma actividade enquadrada no âmbito dos recursos hídricos sendo a sua exploração associada à gestão das águas como pode ser uma actividade no âmbito dos recursos geológicos sendo a sua exploração associada ao valor económico desse recurso. Daqui decorre que, no âmbito dos recursos hídricos, não seja possível a exploração de inertes quando

não vise a gestão do recurso água e que, no âmbito dos recursos geológicos, seja possível a exploração de depósitos minerais sem deixar de considerar os impactes ambientais nos recursos hídricos. Diga-se que, por um lado a actividade principal é o recurso hídrico e que por outro é o recurso geológico. É este o sentido do artigo 60.º da Lei da Água e o n.º 3 deve ser interpretado no quadro da gestão do recurso que é o escopo dessa legislação e não entender que essa norma afasta liminarmente outras normas do sistema jurídico, isto é, face ao concurso de fontes para a regulação da extracção de recursos minerais é de admitir a coexistência de normas que parecem encerrar conteúdos antinómicos mas que são passíveis de harmonização. Daí que, face aos interesses tutelados por cada um dos regimes, se considere tratar de uma concorrência alternativa de fontes normativas que implicam tornar compatível a extracção de recursos minerais com a qualidade do recurso água e que seja exigível, por lei ou por determinação administrativa, um procedimento de avaliação de impacte ambiental. Não há aqui uma incompatibilidade formal no sentido da aplicação da lei que tutela interesses distintos mas antes o que poderá haver é uma incompatibilidade substancial no sentido da exploração de recursos minerais prejudicar a qualidade do recurso água. O que se deixa dito é também aplicável em matéria de utilização dos recursos hídricos constante do Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio, pois a extracção de inertes, enquanto recursos geológicos, não é uma utilização de qualquer recurso hídrico, podendo ser uma actividade com impacte significativo ou não no estado da água, e não se integra no conceito referido no n.º 1 do artigo 77.º¹⁹ pois, desde logo, não é uma operação de desassoreamento podendo, isso sim, a exploração desse recurso geológico ter os mesmos efeitos que uma intervenção de desassoreamento.

Chega-se pois a uma segunda conclusão. As areias dos fundos marinhos são simultaneamente qualificadas como leitos, no âmbito dos recursos hídricos, e como depósitos minerais, no âmbito dos recursos geológicos, e é em função do escopo de cada um destes regimes que a extracção de recursos minerais deve ser qualificada sem que tal signifique não tomar precisamente em consideração os fins visados por cada um desses regimes. Neste contexto, a extracção de recursos minerais, enquanto exploração de um recurso geológico no âmbito de uma actividade económica principal e não acessória, é enquadrada pela legislação respeitante à revelação e aproveitamento de recursos geológicos devendo-se ter em conta os impactes ambientais positivos, negativos e neutros causados por

¹⁹"Entende-se por extracção de inertes a intervenção de desassoreamento das zonas de escoamento e de expansão das águas de superfície, quer correntes, quer fechadas, bem como da faixa costeira, da qual resulte a retirada de materiais aluvionares granulares depositados ou transportados pelo escoamento nas massas de água de superfície, em suspensão ou por arrastamento, independentemente da granulometria e composição química, nomeadamente siltos, areia, areão, burgau, godo, cascalho, terras arenosas e lodos diversos".

essa actividade.

Tudo quanto se deixa dito torna claro que no espaço marítimo é possível confrontar, no que aos recursos minerais respeita, com matéria do domínio público geológico ou hídrico. Não há pois exclusivismos no âmbito da acção administrativa complementar da lei pelo que a delimitação de áreas para a exploração de bens públicos no domínio dos recursos minerais tanto pode decorrer do regime jurídico dos recursos geológicos como do dos recursos hídricos. Importa pois reiterar que no espaço marítimo o regime jurídico dos recursos geológicos possibilita a aquisição de direitos de prospecção e pesquisa e a própria concessão de exploração por via de contrato administrativo²⁰.

Para finalizar, enunciadas que foram as principais questões mais relacionadas com a matéria do domínio público marítimo e respectiva utilização, importa ainda proceder a uma breve nota ao ordenamento do território e fazer expressa referência aos POOC – Plano de Ordenamento da Orla Costeira – relembrando que, enquanto planos especiais de ordenamento do território, visaram e visam, principalmente, fazer face a uma situação específica na orla costeira carecida de uma intervenção de natureza nacional. Como breve nota utiliza-se a título de exemplo o POOC de Caminha-Espinho²¹. Neste POOC é relevante que a alteração concretizada tenha expressamente consagrado no âmbito das servidões e restrições de utilidade pública, na alínea q) do n.º 1 do artigo 5.º, a indústria extractiva. Assim, quer a actividade planificatória quer o plano em si estão sujeitos a essa condicionante. E tal condicionante poderá até ocorrer posteriormente à entrada em vigor do plano. E, por estranho que pareça, a condicionante referente à indústria extractiva não é a resultante da aplicação do regime jurídico da revelação e aproveitamento dos recursos geológicos. Torna-se assim inegável que a pretensa imperatividade da alínea c) do n.º 1 do artigo 11.º deva ser lida restritivamente pois o n.º 2 do mesmo artigo enumera exemplificativamente excepções que atendem a diferentes actividades económicas. Assim, caso a entidade competente no domínio dos recursos geológicos entenda de importância económica, mormente a nível nacional, a extracção de recursos minerais dos fundos marinhos qualificados como depósitos minerais, haverá lugar à aplicação do regime de revelação e aproveitamento dos recursos geológicos sem que tal signifique negligenciar os impactes ambientais positivos, negativos e neutros causados por essa actividade, muito em especial quanto aos aspectos de erosão costeira e de conciliação dos valores ecológicos com as oportunidades de aproveitamento económico dos recursos naturais.

²⁰Cir. artigo 9.º do Decreto-Lei n.º 90/90, de 16 de Março.

²¹RCM n.º 25/99, de 7 de Abril, alterada pela RCM n.º 154/2007, de 2 de Outubro.

Tem-se pois que concluir que a interdição da extração de inertes prevista no POOC Caminha-Espinho deve ser entendida como uma proibição aplicável a situações respeitantes à exploração de inertes em consequência da gestão dos recursos hídricos. Caso se trate de uma exploração a ser exercida no âmbito do regime jurídico dos recursos geológicos é, obviamente, uma exceção enquadrável nas excepções exemplificativamente enumeradas no n.º 2 do artigo 11.º do POOC.

Finaliza-se concluindo que a "riqueza" das situações com que se debate no espaço marítimo, a sua complexidade e heterogeneidade, são razão mais que suficiente para legitimamente se aprofundar o quadro normativo aplicável. Espera-se ter problematizado algumas equívocas certezas.

5. Depósitos e Vazadouros

5.1. Introdução

A escolha do ponto de descarga é um aspecto fundamental para os promotores de dragagens que, com o objectivo de aprofundar ou manter as suas águas navegáveis, necessitam de um vazadouro onde depositar os materiais removidos dos fundos marinhos ou fluviais.

Se nas obras de alimentação artificial de praias a dificuldade está em localizar depósitos úteis para este propósito, para os portos dragadores o problema normalmente é inverso, dada a dificuldade em encontrar locais de descarga.

A crescente pressão ambiental das sociedades actuais, leva a que a escolha do vazadouro seja determinante para garantir a viabilidade de muitas das obras de dragagem. Por isto, neste trabalho, são apresentadas diferentes alternativas de gestão do material dragado à escala internacional, expondo as suas vantagens e inconvenientes, e a sua relação com o tipo de material a depositar.

Na maioria das vezes, a escolha do ponto de descarga é condicionada por aspectos legais, pelo que é conveniente conhecer as convenções internacionais existentes neste campo, assim como as respectivas directivas europeias e as suas transposições aos diferentes Estados. Também é fundamental o conhecimento físico, químico e ambiental dos materiais a dragar para estudar as alternativas necessárias para a gestão das descargas numa acção concreta.

Neste trabalho, tenta-se ainda superar o enfoque tradicional dos vazadouros e dos depósitos como elementos exclusivamente ligados a uma obra de dragagem concreta, apresentando o seu ciclo de vida completo: planeamento, concepção, construção, exploração, acompanhamento e uso final. De facto, os pontos de descarga devem ser entendidos no seu processo integral.

Por último, é ainda salientado o contributo que a experiência do Porto de Huelva pode representar no âmbito deste tópico. De facto, a necessidade de realizar dragagens constantes na sua Ria, fez com que o estudo dos vazadouros e depósitos tenha uma especial importância nesta Autoridade Portuária. Por isto, inclui-se neste texto uma descrição desta problemática, assim como das soluções adoptadas, que podem servir como exemplos práticos de situações deste tipo.

5.2. Evolução Histórica do Ponto de Descarga

Em tempos passados, prestava-se uma menor atenção a todos os processos relacionados com a descarga do material dragado, predominando o interesse pelo processo de remoção propriamente dito. As características do material a dragar eram analisadas para a estimativa da sua escavabilidade, ignorando o estudo do seu grau de contaminação para determinar qual a localização final idónea do material removido. Preocupava mais determinar os equipamentos a empregar e o seu rendimento, do que analisar o ponto de descarga. A descarga era considerada como algo que necessariamente devia ser feito, interessando fundamentalmente reduzir os custos envolvidos no seu depósito, assim como na própria descarga, e minimizar possíveis problemas operativos, pelo que a escolha dos vazadouros ou depósitos era principalmente baseada nestes factores. Na tentativa de cumprir estas condições, era frequente reduzirem-se as distâncias de transporte desde o ponto de dragagem até ao ponto de descarga, pelo que os depósitos nas margens dos rios eram recorrentes, sendo muitas as populações assentadas sobre antigos vazadouros de portos.

Actualmente, muitas destas ideias continuam ainda em vigor e, de facto, é importante considerar os custos e os tempos de navegação. No entanto, a componente ambiental foi alterando a concepção dos pontos de descarga para o material procedente das dragagens. O ponto de partida para esta mudança de tendência ocorreu na década de 70 do século XX, devido à aceitação da Convenção de Londres e da Convenção Oslo-Paris, mediante as quais os países assinantes eram obrigados a restringir as descargas no mar de uma série de produtos, entre os quais os materiais de dragagens. O apoio da sociedade, dos políticos e das instituições em defesa do ambiente e, em particular da luta contra a contaminação marinha, fez evoluir as técnicas de gestão do material de dragagem.

Presentemente, já não se pode descarregar o material dragado em qualquer local. Não interessa sómente minimizar os custos e optimizar o processo de descarga, mas também compatibilizar esse processo com o meio ambiente. Assim, a escolha do ponto de descarga é um problema fundamental para qualquer obra de dragagem e a gestão do material dragado pode representar importantes custos e um tempo considerável para levar a cabo todos os trâmites necessários.

5.3. Alternativas Existentes para a Descarga

Nesta secção, são apresentadas as técnicas de configuração de vazadouros de dragagens existentes em função da necessidade de coninhar o produto consoante os seus níveis de contaminantes.

5.3.1. Pontos de Descarga com Confinamento

Depósitos em terra

Estes depósitos de confinamento do material dragado estão limitados por muros ou diques de con-

tenção construídos em terra firme. A estrutura perimetral que constitui o depósito é cimentada sobre o terreno natural não submerso (Figura I-16). Pode-se ainda realizar uma escavação prévia no terreno para aumentar a capacidade de armazenamento.

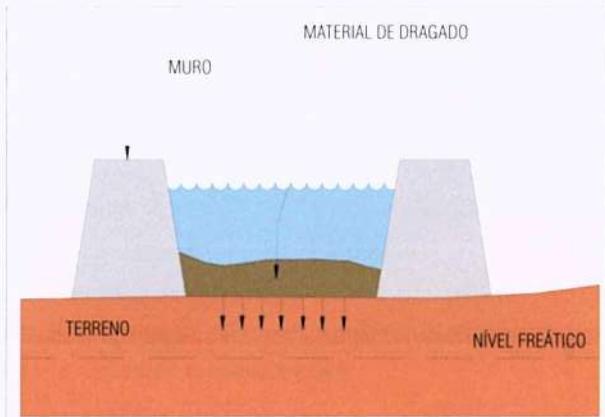


Figura I-16 - Esquema de um depósito em terra.

A principal característica deste tipo de depósitos é que o material procedente das dragagens, uma vez depositado, está sempre acima do nível freático, o que implica dois fenómenos relacionados com a gestão do material confinado:

- A água descarregada no depósito juntamente com o material dragado poderá infiltrar no terreno até alcançar o nível freático, o que pode causar a contaminação de aquíferos se não forem tomadas medidas adequadas de isolamento.
- O material de dragagem confinado no depósito poderá sofrer um processo de secagem e oxidação, o que dificulta a fixação dos metais pesados no material confinado.

Os depósitos em terra, por se localizarem fora do meio aquático, possuem a vantagem de permitirem o seu acompanhamento e controlo ambiental com maior sensibilidade e precisão. Esta localização é também uma vantagem durante a fase de construção, visto que todos os trabalhos são sempre realizados com maior comodidade e economia em terra do que em meio aquático. Outra das suas vantagens é a versatilidade que possuem estes tipos de depósitos em relação à sua utilização final, uma vez que os terrenos disponíveis, após a selagem do aterro, podem ser aproveitados para diferentes usos. Entre os seus principais inconvenientes, deve-se salientar as dificuldades em dispor de terreno com

grandes extensões, em terra firme, para construir um depósito face à disponibilidade em meio aquático. O valor económico dos terrenos é cada vez maior, principalmente em zonas costeiras ou ribeirinhas. Assim, nem sempre é possível utilizar hectares de terreno para confinar materiais de dragagens e, por vezes, somente será possível a grandes distâncias da zona a dragar. Além disso, a sociedade encara a presença destes aterros com alguma relutância, visto serem constantemente visíveis pela população, tornando, por vezes, complexos os trâmites associados a este tipo de depósitos.

É também considerada uma desvantagem desta tipologia a necessidade de se tomarem intensas medidas de isolamento por forma a confinar com garantias os contaminantes. Outro aspecto desfavorável nesta solução é o elevado custo associado ao processo de enchimento destes depósitos, por requerer esforços maiores ou transportes terrestres intermediários.

Como exemplo desta tipologia, pode-se mencionar o depósito de aproximadamente 80000m³ construído no Douai (localidade do Norte da França, Figura I-17). Existem outros casos de maior dimensão como é o depósito em terra construído em Bremen (Alemanha), com uma capacidade de armazenamento de 4 milhões de metros cúbicos ou o existente em Hamburgo (Alemanha), de 9 milhões de metros cúbicos.

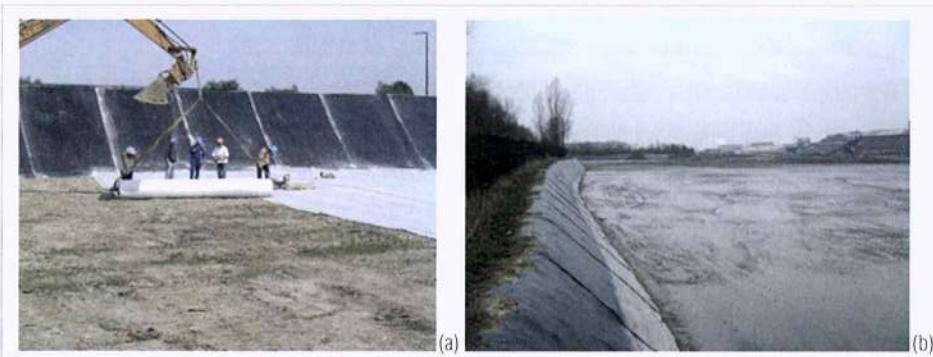


Figura I-17 - Depósito em terra construído no Douai (localidade do Norte da França) de aproximadamente 80000m³ (a) ainda em fase de construção; (b) posterior à entrada em serviço.

Depósitos emergentes

Os depósitos emergentes, também denominados depósitos em ilhas ou próximos à costa, como tradução literal do inglês, são, actualmente, os mais utilizados para confinar o material removido das obras de dragagens. Este tipo de depósitos possui os seus muros de contenção apoiados sobre o leito fluvial ou marinho, pelo menos, em algum dos seus troços (Figura I-18). Pode ser realizada uma dragagem prévia na zona interior do depósito a construir, com a intenção de aumentar a capacidade

de armazenamento. Nestes casos, convém a realização de um estudo económico para a determinação da sua conveniência.

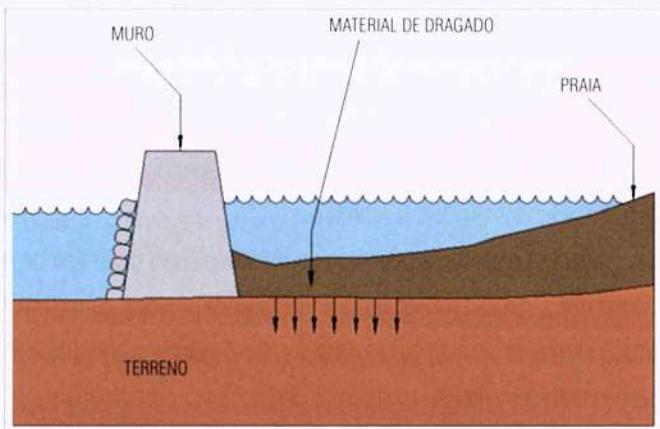


Figura I-18. Esquema de um depósito emergente.

Estes depósitos caracterizam-se pelo facto de o material armazenado se encontrar situado parcialmente abaixo do nível freático. A diferença de gradiente hidráulico existente entre o depósito e o meio exterior é menor do que nos depósitos construídos em terra firme, pelo que o risco de infiltrações é inferior. Neste tipo de depósitos, a saída mais fácil de materiais contaminados é através do efluente, pelo que, se deve prestar uma atenção especial nestes locais durante o acompanhamento e controlo ambiental da descarga.

Os depósitos emergentes apresentam uma série de vantagens e inconvenientes comparativamente aos depósitos em terra ou aos submersos. Por um lado, os metais pesados ficam retidos com maior garantia nos depósitos emergentes do que no caso de depósitos em terra, visto que o material de dragagem, sempre que se mantenha debaixo da água, se encontra confinado, sem presença de oxigénio. Outra vantagem, neste caso económica, está relacionada com a capacidade de armazenamento, uma vez que este tipo de depósitos requer escavações menores para conseguir volumes de armazenamento equivalentes. Os depósitos submersos exigem normalmente uma dragagem de grande volume para se obter um bom depósito.

No que respeita ao meio ambiente, a troca de produtos ocorre entre o depósito e o meio exterior envolvente, pelo que, no caso dos depósitos emergentes, se limita à dispersão de produtos na água. O acompanhamento e o controle ambiental deste tipo de depósitos são realizados com maior facilidade

do que no caso dos construídos debaixo de água. É igualmente destacável o facto de que os terrenos gerados, após o enchimento do depósito, são susceptíveis de serem aproveitados para diversos usos, ao contrário do que ocorre em depósitos submersos.

Contra esta tipologia de aterro pode-se referir, o impacto visual que os muros de contenção provocam na costa. A sociedade tolera de melhor forma a presença de pontos de descargas debaixo da água, uma vez que a visão contínua destes depósitos na costa pode provocar a existência de grupos de pressão contra estas infra-estruturas. Outra desvantagem desta técnica está relacionada com a operação de descarga que, geralmente, é realizada mediante tubagem de impulsão, o que representa um custo mais elevado do que a descarga dos depósitos submersos.

Em certos casos, pode-se também considerar como inconvenientes deste tipo de depósitos, as possíveis interferências que a sua construção ou exploração pode provocar com o tráfego marítimo.

Existem numerosos exemplos desta tipologia de aterro. Em Espanha, a Autoridade Portuária de Huelva executou vários depósitos emergentes, como será desenvolvido posteriormente. Internacionalmente, salienta-se o renomado *Slutter*, construído no Porto de Roterdão (Holanda). Este depósito foi concebido para um volume de armazenamento de 150 milhões de metros cúbicos. A sua execução passou por uma dragagem até à cota de 28 metros abaixo do nível do mar e pela construção de muros de contenção que alcançam os 26 metros acima do nível do mar. Portanto, a diferença de cota entre o ponto mais baixo do fundo do depósito e o coroamento dos muros é de cerca de 54 metros.

Entre outros casos, pode-se mencionar também os depósitos emergentes construídos em Lynette (Dinamarca) com 700000m³ de capacidade de projecto, Gotemborg (Suécia) com 220000m³, Liverpool (Canadá) com 235000m³, Milwaukee (Estados Unidos) com 325000m³ e Minamata (Japão) com uma capacidade de 1.5 milhões de metros cúbicos. Também se destaca, pelo seu tamanho, o depósito de Ijsseloog (Holanda) construído com uma capacidade de concepção de 23 milhões de metros cúbicos.

Depósitos submersos

Neste tipo de depósitos geralmente não se constroem muros de contenção. Em vez disso, realiza-se uma dragagem prévia ou utiliza-se um local natural idóneo para confinar o material com uma boa capacidade de armazenamento, como por exemplo as fossas submarinas. Após a deposição, o material dragado é posteriormente confinado com uma camada superior de material limpo, procedimento de gestão do material dragado conhecido como *capping* (Figura I-19).

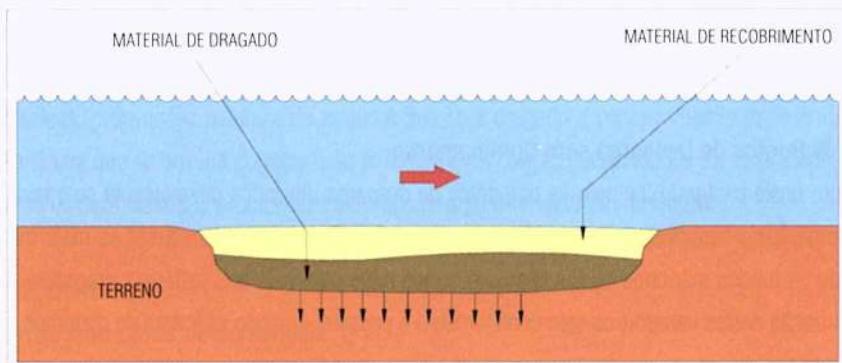


Figura I-19 Esquema de um depósito submerso.

Dentro desta tipologia podem-se ainda incluir soluções baseadas na execução de muros de contenção, cujo coroamento fique sempre abaixo do nível da água.

Os depósitos submersos caracterizam-se pela permanente situação do material depositado abaixo do nível freático que, como foi dito anteriormente, favorece a fixação de metais pesados ao material confinado, por não existir oxigénio.

De forma a garantir do sucesso dos depósitos subaquáticos no que respeita à gestão do material dragado, é fundamental o estudo das condições hidráulicas, de modo a que se reduza a dispersão durante a descarga e o deslocamento do material uma vez depositado. Neste tipo de depósitos o processo de descarga é crítico, visto que é feito em meio aquático. O material dragado é descarregado para o fundo, pelo que os sedimentos percorrem a coluna de água até se depositarem no fundo. Caso ocorram dispersões significativas, este método deverá ser descartado.

Os depósitos submersos apresentam evidentes vantagens paisagísticas, visto que não são visíveis. Geralmente, a sociedade está mais preparada para assumir este tipo de soluções, ainda que, paradoxalmente, se possa provocar uma contaminação marinha superior aos outros tipos de depósito. No entanto, parece que o que não se vê, não existe.

Outra vantagem deste método prende-se com o processo de descarga, que se realiza desde a draga para o fundo. É simples e de menor custo do que naqueles casos que requerem impulsões. Além disso, estes depósitos requerem pouco esforço em manutenção e um investimento inicial mínimo.

Como argumento negativo, pode-se assinalar o acompanhamento e o controlo ambiental mais complexo quando comparado com os outros métodos.

Existem vários precedentes nos quais foram utilizados depósitos submersos como, por exemplo, no Porto de Boston (Estados Unidos), onde foram construídas diferentes células subaquáticas com ca-

pacidades compreendidas entre 21000 e 27000m³ de confinamento. Esta solução foi também utilizada no Porto de Hamburgo (Alemanha), onde foram confinados 290000m³.

5.3.2. Pontos de Descarga sem Confinamento

Dentro deste parágrafo incluem-se os pontos de descarga utilizados directamente sem realizar obra de engenharia associada à dragagem. Estas descargas livres continuam a ser as mais frequentes, sendo os fundos marinhos ou fluviais os destinos mais habituais dos materiais dragados. De facto, a utilização destes vazadouros sem confinamento é possível, quando se tratam de materiais não contaminados.

Ao contrário dos depósitos, estes aterros são delimitados por alinhamentos teóricos ou coordenados pelos vértices da figura geométrica que adoptam em planta. Sobre as zonas de descarga definidas, tramitam-se as licenças necessárias para que posteriormente, durante a fase de operação, as dragas efectuem descargas para o fundo. Do ponto de vista do local de descarga propriamente dito, visto que não é necessária qualquer construção de contenção do depósito, o técnico limita-se a realizar uma série de estudos prévios, como por exemplo, estudos de correntes, batimetrias, fluxo das ondas, navegação, entre outros.

Esta solução apresenta a vantagem de corresponder a um menor custo. No entanto, somente é aceitável no caso de se tratarem de materiais não contaminados. Dentro desta tipologia pode-se diferenciar genericamente duas alternativas: aterros livres no mar e aterros livres em zonas fluviais.

5.4. Gestão de Depósitos e Vazadouros

A concepção de depósitos e vazadouros como locais de descarga, deve ir para além da concepção de uma obra de dragagem propriamente dita. É conveniente e mais proveitoso considerar o ciclo completo de vida útil de um aterro, desde a sua pré-concepção até à sua utilização final, de modo a integrar todas as questões relacionadas com a descarga do material dragado. Assim, neste trabalho é de seguida apresentada uma análise de cada uma das fases da gestão de um ponto de descarga de qualquer natureza. Esta linha de actuação no tempo pode ser esquematizada do seguinte modo:

5.4.1. Planeamento

O estudo, com tempo suficiente, das necessidades futuras, é fundamental para realizar uma boa gestão da descarga dos materiais procedentes das dragagens. A decisão de colocar em serviço aterros, requer prazos de resposta consideráveis para a sua concepção, execução e tramitação, pelo que se deve vislumbrar com bastante antecedência uma obra de dragagem específica.

Para desenvolver um planeamento de depósitos e vazadouros num âmbito geográfico específico é importante estimar os volumes de aterros anuais, caso sejam necessárias dragagens de manutenção periódicas, prevendo a natureza do material que será dragado e posteriormente depositado, com a experiência que se possua no lugar. Isto permitirá conhecer as necessidades de capacidades de confinamento para materiais procedentes de dragagens para um período de tempo.

5.4.2. Concepção

Aterros sem obras de contenção

Ao não ser necessária a construção de muros que delimitem o depósito, a concepção deverá centrar-se em encontrar a localização e o traçado em planta mais adequados para a criação do aterro. Para isto, o trabalho de concepção consiste basicamente na realização de uma série de estudos prévios nas possíveis localizações previstas, que podem incluir levantamentos batimétricos, estudo de correntes e de ondas, granulometria e caracterização do fundo, estudo de efeitos sobre a sedimentologia litoral e a biosfera submarina, entre outros.

Aterros com obra de contenção

A concepção deste tipo de aterros deverá basear-se no volume teórico de armazenamento que se deseja obter, ainda que, como veremos posteriormente, o volume disponível real seja sempre superior ao da concepção. A capacidade será determinada a partir do estudo das necessidades de cada zona concreta, através do planeamento que se tiver realizado anteriormente.

Para determinar a localização mais adequada, deve-se efectuar um levantamento topográfico/batimétrico prévio, tratando de optimizar a capacidade resultante com o custo mínimo para a execução das contenções do depósito. Dentro destes estudos iniciais que são aconselháveis efectuar, salienta-se o reconhecimento geotécnico.

Para se realizar o dimensionamento em planta de um depósito, deve-se ter em consideração o modo de descarga desde a draga e os tempos de decantação do material dragado em suspensão, para se garantir assim a mínima concentração de sólidos em suspensão no efluente.

Na concepção da secção tipo, deve-se recorrer a materiais adequados para poder assegurar a impermeabilidade do depósito, que sejam disponíveis em pedreiras ou depósitos próximos. Se for necessário, quer por não existirem materiais suficientemente impermeáveis, quer pelo alto grau de contaminação dos materiais a confinar, pode-se recorrer ao emprego de lâminas sintéticas de impermeabilização.

A capacidade de retenção do muro, normalmente é conferida pelo núcleo que habitualmente é pro-

jectado para ser constituído de um material com certa plasticidade, sobre o qual são colocadas mantas de enrocamento para a sua protecção. Também é possível a utilização de outros materiais, como areias ou cascalhos, na construção dos muros, com a devida impermeabilização. Nesses casos os diques de areia devem-se proteger, formando praias dianteiras deste mesmo material, para dissipar a energia do fluxo das ondas. Para dimensionar estes muros, deve-se recorrer à teoria geral da estabilidade de taludes, no que respeita a procedimentos de cálculo e definição dos coeficientes de segurança aceitáveis. Deve também ter-se em conta, para o cálculo do tamanho do enrocamento de protecção, as ondas e a agitação a que a área está exposta, utilizando as mesmas formulações utilizadas no cálculo de diques e taludes. É importante comprovar a condição de filtro entre as diferentes mantas de protecção do núcleo do muro, para impedir a fuga de finos para o exterior.

5.4.3. Construção

Os aterros sem obras de contenção não necessitam de qualquer construção prévia à descarga dos materiais, salvo execução de dragagens para aumentar capacidade de armazenamento do depósito. Nos métodos onde são necessários muros de contenção, como é o caso de depósitos em terra e depósitos emergentes, estes podem ser executados de forma distinta: com recurso a camiões ou a meios flutuantes. Se o muro for executado utilizando um camião, por avanço em ponta, podem surgir dificuldades em alturas de praia-mar, se pelo contrário, se recorrer ao uso de batelões, a limitação ocorrerá durante a baixa-mar. Em ambas as hipóteses, deve-se compatibilizar o trabalho com os níveis de água associados à maré.

Um factor importante na fase da construção está relacionado com a protecção do dique conforme avança a obra, pois, muitas vezes, as perdas são consideráveis. Deve ser dada especial atenção à segurança e às condições de trabalho neste tipo de obras, mesmo quando estas reduzam o rendimento das equipas. Em particular, quando o tráfego de camiões sobre o muro é elevado, o risco dos veículos pesados resvalarem e caírem à água durante as operações é grande.

Quando se constroem as contenções dos depósitos costumam-se abrir várias frentes simultaneamente, na tentativa de encurtar os prazos de execução. Com esta prática, a união destas frentes de avanço, aquando do fecho do depósito, é sempre um momento crítico. As correntes de entrada e saída podem provocar fortes erosões.

Existe outro método mais recente de execução dos diques de contenção. Baseia-se no uso de geotêxteis que, formando sacos cheios de material procedente das dragagens, são depositados no fundo marinho ou fluvial.

5.4.4. Operação

Incluem-se nesta fase os trabalhos de descarga do material dragado nos aterros. Deve-se diferenciar, fundamentalmente, quanto à sua fase de enchimento, aqueles pontos de descarga que se encontram submersos daqueles outros que se encontram, pelo menos parcialmente, acima do nível freático.

Aterros submersos

A descarga realiza-se para o fundo desde as dragas ou desde os batelões. Tratam-se de descargas por gravidade. A sua principal problemática apoia-se na dispersão do material desde que é libertado até ao seu depósito no fundo. A dispersão pode ser reduzida recorrendo ao uso de barreiras flutuantes ou outros acessórios, como por exemplo, o uso de tubagens *tremie* desde a draga. Assim, o controlo das dispersões durante as operações de descarga adquire especial importância neste tipo de aterros. Deve ainda haver um controlo batimétrico periódico do fundo, de modo a conhecer a capacidade restante do depósito e a estabilidade do material depositado.

Aterros emergentes ou em terra

Nestes aterros a descarga realiza-se habitualmente por meio de bombagem. O material é impelido desde a cisterna da draga, misturado com água para facilitar o seu transporte, que se realiza por uma tubagem fixa ou flutuante até à sua entrada no depósito.

Durante a fase de operação, o nível do fluido no interior do depósito deve ser vigiado cuidadosamente, actuando-se sobre as descargas para impedir a saída de sólidos em suspensão através do efluente do depósito. Igualmente, é importante adequar o tamanho da draga à capacidade do depósito, evitando maiores caudais de descarga em relação aos que o depósito é capaz de aceitar. De modo a favorecer a circulação do fluido no interior do depósito, a tubagem que transporta o material deve ser adequada à medida que o depósito é enchido.

Os materiais necessitam de mais tempo para a sua sedimentação conforme o tamanho das suas partículas. Para favorecer o processo de sedimentação, pode-se prolongar a extensão que o fluido deve atravessar desde a sua entrada até a saída do depósito, criando camalhões, canalizações e valas no interior.

Na fase de operação deve-se considerar o volume real de armazenamento que possuem os depósitos e não o volume teórico. De facto, tem-se vindo a comprovar que o volume real de material que se pode confechar num depósito, estudado com recurso a levantamentos batimétricos antes e após o depósito, é superior ao volume teórico para o qual o depósito foi concebido. Em alguns casos chegou-se a registar capacidades reais próximas do dobro das teóricas. Este fenómeno pode ser explicado pela

própria compressão do material confinado, devido à colocação de sedimentos sobre outros, assim como, por possíveis assentamentos do fundo natural do aterro. O facto da densidade do material submerso antes de dragado ser diferente da densidade que o material apresenta no depósito, pode também ajudar a explicar este fenómeno. Além disso, deve-se ainda salientar que os volumes de dragagem calculados tendo como base levantamentos batimétricos não são exactamente volumes de material real em depósito, já que existem perdas no transporte e imprecisões no registo das sondas.

5.4.5. Uso Final

Após o enchimento completo do aterro com materiais procedentes da dragagem, se a sua cota estiver acima do nível freático, é possível a reutilização dos terrenos para diferentes fins. Os promotores de obras de dragagens devem considerar esta possibilidade desde o princípio de todo o projecto, para actuar consequentemente e estimar a sua repercussão económica. Entre os usos finais possíveis para estes depósitos, salientam-se as zonas verdes ou reflorestadas e, no caso de se tratar de um porto, zonas recreativas (esplanadas) de uso portuário. É, no entanto, recomendável selar o aterro com uma camada de material limpo depositado sobre os produtos de dragagens, com o objectivo de libertar os contaminantes do meio.

O problema, na maioria dos casos de utilização destes terrenos, relaciona-se com a baixa capacidade de carga destes aterros. De facto, o material de dragagem confinado possui quase sempre um mau comportamento geotécnico, uma vez que apresenta grande conteúdo de finos e abundante presença de água intersticial. Assim, a ocorrência de posteriores assentamentos é provável, pelo que não se deve construir pavimentos definitivos sobre estes depósitos sem qualquer tipo de tratamento prévio.

5.5. Um Caso de Exemplo: O Porto de Huelva

O Porto de Huelva está situado na confluência dos rios Odiel e Tinto. As características dos terrenos atravessados pelos citados rios condicionam o material transportado fluvialmente, levando à deslocação de grande quantidade de materiais em suspensão, produzindo importantes aterros nas zonas portuárias, especialmente em períodos de fortes cheias. Juntando este facto ao movimento natural de areias na entrada do porto e através do dique, faz com que o Porto de Huelva tenha a necessidade de realizar dragagens periódicas para a manutenção dos calados das suas zonas navegáveis.

Nas bacias dos rios Tinto e Odiel foram exploradas numerosas minas de pirite ricas em ferro e cobre desde os mais remotos tempos históricos. A lixiviação e arrasto das suas escombreiras e a exploração das próprias minas, proporcionam um efluente carregado de material sólido e rico em sais de metais pesados solúveis em meio ácido que lhe é próprio, mas que precipitam quando a influência da água

do mar leva a um aumento do seu pH. Estes metais pesados contaminam os iodos que posteriormente serão dragados. O fenómeno agrava-se pela existência de importantes indústrias químicas na zona portuária e pelos inevitáveis derrames de minerais metálicos que ocorrem nas zonas de atracação dos navios durante as operações de carga ou descarga.

Os iodos removidos do cais estão contaminados fundamentalmente devido a metais pesados, tornando-se necessária a gestão ambiental dos sedimentos da ria, pelo que a Autoridade Portuária de Huelva, desde 1989 e em colaboração com o CEDEX, realiza estudos para o conhecimento da problemática ambiental dos sedimentos da ria e para dar resposta às descargas. Fruto destes estudos, em 1991, tentou-se uma solução para a gestão dos materiais contaminados, mediante a técnica de *capping*, depositando os produtos de dragagem a 30 metros de profundidade e confinando-os mediante a descarga posterior de uma camada de cobertura com materiais limpos. Esta técnica não teve o sucesso esperado devido à forte dispersão dos materiais, principalmente pelo efeito das correntes.

Como solução alternativa a gestão dos produtos de dragagens contaminados foi planeada recorrendo à técnica de confinamento em depósito emergente, que no caso de Huelva podia ser levada a cabo mediante a execução de depósitos apoiados ao Dique Juan Carlos I ou à margem esquerda da ria.

Os depósitos construídos no Porto de Huelva são bastante representativos deste tipo de aterros. Até ao presente foram construídos quatro depósitos de características bastante similares para o confinamento do material dragado, estando previsto um quinto depósito.

Por outro lado, é de referir que os materiais dragados não contaminados são descarregados em dois vazadouros em mar aberto, um para areias que cumpram os requisitos necessários para a sua utilização na regeneração de praias e outro para os restantes materiais não contaminados.

5.5.1. O Depósito Piloto

As obras deste depósito, concluídas em Outubro de 1994, consistiram numa terraplenagem de contenção que delimitavam um compartimento na margem direita da Ria de Huelva, apoiado ao dique de contenção de areias Juan Carlos I. A sua capacidade é de 370000m³, apresentando uma área de 90000m².

5.5.2. O Depósito da Margem Esquerda

Em Junho de 1996 foram concluídas as obras relativas ao segundo depósito para o confinamento do material dragado. Possui aproximadamente 2.5km de comprimento e cerca de 200m de largura, e foi concebido com uma capacidade teórica de 1900000m³ e uma área aproximada de 50ha. Está dividido em quatro células, uma das quais de 300000m³ impermeabilizada de modo a alojar materiais da Classe IV (ver Tabela I-2).

5.5.3. O Depósito da Margem Direita nº 2

É o segundo depósito na margem direita, situado a aproximadamente a 2.5km a jusante do depósito piloto. A capacidade de confinamento teórica é de cerca de 1.5 milhões de metros cúbicos, para uma área de 275000m². O comprimento do muro de contenção é de 1750m e o muro divisório central que separa os compartimentos tem 230 metros.

5.5.4. O Depósito da Margem Direita nº 3

Apoiado ao depósito descrito anteriormente (I.5.5.3), apresenta características similares. Entrou em serviço em 2005.

5.6. Conclusões

- A descarga do material dragado adquire, a cada dia, maior importância, chegando a ser um dos aspectos que mais devem preocupar os promotores de obras de dragagens.
- Existem diversas alternativas em relação aos locais possíveis de descarga, devendo-se estudar, em cada caso concreto, as suas vantagens e inconvenientes.
- Compete ao promotor seleccionar a alternativa mais adequada, ainda que, de acordo com a legislação em vigor, existam outros organismos que devem informar e autorizar este tipo de actuação, pelo que se deve actuar de forma coordenada.
- A gestão do material procedente da dragagem deve ser estudada no seu ciclo completo, partindo de um adequado planeamento até ao seu uso final, no qual se destinará o aterro uma vez cheio e selado.
- O confinamento do material de dragagem origina investimentos dispendiosos que devem ser estudados cuidadosamente e apresentados à opinião pública, contribuindo, com isto, para a criação de uma corrente de opinião defensora dos interesses do porto.

Equipamentos de dragagem

CAPITULO II



1. Equipamentos Mecânicos de Dragagem

1.1. Geral

Incluem-se sob a denominação de equipamentos mecânicos de dragagem, todos os equipamentos de dragagem cuja ação sobre o terreno (corte e remoção) se realiza exclusivamente por meios mecânicos.

Dependendo das características do meio mecânico que leva a cabo a remoção do material, estas dragas podem ser classificadas nos seguintes tipos: dragas de alcatruzes, dragas escavadoras e dragas de caçambas (Tabela II-1):

Tabela II-1 · Tipo de dragas mecânicas.

Tipo de draga	Meio de Remoção
DRAGAS DE ALCATRUZES	Cadeia de alcatruzes
DRAGAS ESCAVADORAS	Braço de retroescavação
DRAGAS DE CAÇAMBAS	Caçamba

As dragas mecânicas costumam ser estacionárias. O material dragado é descarregado no depósito dos batelões para posteriormente ser transportado e despejado pelo fundo, normalmente no mar (Figura II-1).



Figura II-1 · Carga dos batelões.

1.2. Dragas de Alcatruzes

Este tipo de dragas foi utilizado fundamentalmente nos anos 1960-1980. Este modelo não sofreu desde então uma grande evolução, e estão a ser substituídas pelas grandes dragas mecânicas de retroescavação (Figura II-2).



Figura II-2 · Draga de alcatruzes (foto: Luis Sánchez Guerra, FPS Dragados).

A característica que define este tipo de dragas é a capacidade do alcatruz, que costuma estar compreendida entre 400 e 900 litros.

1.2.1. Descrição Geral

A draga de alcatruzes consta, essencialmente, de uma cadeia sem fim de alcatruzes (rosário) que

se desloca sobre uma escala de inclinação variável, de grande robustez, instalada sobre um pontão (Figura II-3).



Figura II-3 - Escala de uma draga de alcatruzes.

Os alcatruzes costumam ser em aço fundido, com bordas de ataque em aço especial de alta resistência à abrasão. Para dragar materiais compactos ou rocha, utilizam-se alcatruzes de menor tamanho, robustos e dotados de dentes (Figura II-4).



Figura II-4 - Alcatruse para dragar em zonas com presença de materiais rochosos.

O rosário é guiado por dois tambores prismáticos (prismas) situados nos pontos mais extremos, alto e baixo, da escala. O prisma alto é o que comunica o movimento ao rosário (Figura II-5).



Figura II-5 - Prisma alto de uma draga de alcatrizes.

A zona baixa do rosário é a que entra em contacto com o terreno; os alcatrizes vão arrancando porções de material, retendo-as no seu interior e elevando-as à cobertura da draga (Figura II-6).

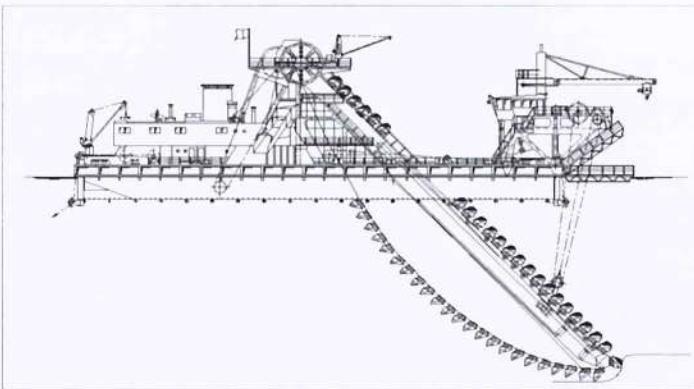


Figura II-6 - Corte do terreno com draga de alcatrizes.

No ponto alto da escala, os alcatrizes giram ao redor do prisma alto, depositando o material que contêm num depósito onde, através de calhas de escoamento, passa a ser depositado sobre o batelão (Figura II-7).



Figura II-7 - Depósito de materiais no batelão com draga de alcatrizes.

1.2.2. Sistema de Trabalho

A remoção do material com a draga de alcatruzes é efectuada mediante o corte do terreno com os alcatruzes, apóis colocada a escala a uma determinada profundidade (Figura II.6). Para que a remoção do material seja contínua, colocando ao alcance dos alcatruzes novo material a escavar, a draga deve deslocar-se lateralmente. Para isto, existem quatro cabrestantes que accionam outros cabos (traveses) situados dois em cada costado da draga e ancorados a uma determinada distância desta. Este movimento lateral da draga permite varrer toda a largura do canal que se deseja dragar (Figura II-8).

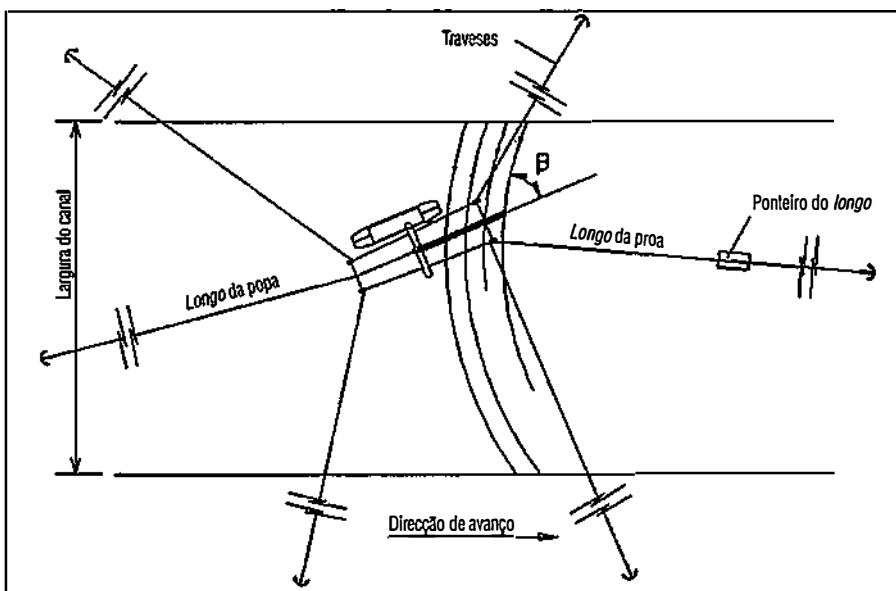


Figura II-8 · Sistema de trabalho de uma draga de alcatruzes.

Uma vez alcançado o limite lateral do canal (linha), será necessário agir sobre o cabo da proa (longo) para avançar a draga e introduzir de novo os alcatruzes no terreno de modo que noutro movimento lateral semelhante ao anterior, mas em sentido contrário, seja possível prosseguir com a dragagem. No seu movimento lateral, a draga descreve uma ampla trajectória circular com centro na âncora do longo da proa.

A largura do canal a dragar é imposta pelas distâncias às quais se podem fundear os cabos do longo e dos traveses. Caso não existam outras restrições, costumam-se dragar canais com larguras de 60 a 100m.

1.2.3. Capacidade Produtiva

A estimativa da produção de uma draga é o factor fundamental para a estimativa do custo unitário de dragagem em projectos, elaboração de propostas e orçamentos e planificação dos trabalhos.

A produção de uma draga depende da potência disponível para efectuar a escavação. Para uma draga de alcatruzes *standard*, a potência disponível para a escavação costuma ser cerca de 80% da potência de accionamento da escala.

Há que distinguir entre a capacidade produtiva da draga e a do conjunto do trem de dragagem, incluindo os batelões de descarga. A capacidade produtiva da draga pode ser estimada pelo produto entre a velocidade da nora (N , nº de alcatruzes/min.) e o volume de material transportado pelo alcatruz (C_m):

$$P_R = N \cdot C \cdot c_{II} \cdot c_v \cdot c_{es} \cdot \frac{1}{c_e} \quad (\text{II-1})$$

Sendo:

- Capacidade do alcatruz (C)
- Coeficiente de enchimento (c_{II})
- Coeficiente de inclinação da escala (c_{es})
- Coeficiente de esvaziamento - vazão (c_v)
- Coeficiente de expansão (c_e)

Destes parâmetros, os que dependem do tipo de material a dragar são a velocidade da nora e os coeficientes de enchimento, de esvaziamento e de expansão (Tabela II-2).

Da configuração da área de dragagem, ou seja, da profundidade e da espessura, dependem a velocidade da nora e o coeficiente de inclinação da escala.

Tabela II-2 - Valores típicos das variáveis de produção.

Tipo de Material	Coeficiente de enchimento c_{II}	Coeficiente de esvaziamento c_v	Coeficiente de expansão c_e	Velocidade da Nora N (Alcatruzes/min)
Argila firme	1.2-1.0	0.9-0.8	1.15-1.25	16-18
Argila média	1.1-1.0	0.8-0.7	1.10-1.15	18-20
Argila branda	1.0-0.9	0.9-0.8	1.00-1.10	20-22
Argila grossa	0.9-0.8	1.0-0.9	1.05-1.10	18-20
Argila média	0.8-0.7	0.9-0.8	1.10-1.15	18-20
Argila fina	0.7-0.6	0.8-0.7	1.15-1.20	16-18
Rocha fracturada	0.6-0.4	1.0	1.30-1.60	16-18
Rocha branda	0.3-0.2	1.0	1.20-1.40	14-16

A produção calculada mediante a fórmula II-1 corresponde à produção horária líquida da draga sem qualquer limitação, no caso de se trabalhar de forma contínua, e sem ter em consideração as paralisações provocadas por manobras, avarias, mau tempo, etc. Como referência, indicam-se as produções médias semanais em função da natureza do material a dragar e para diferentes tipos de capacidade de

alcatruz (Tabela II-3).

Tabela II-3 - Produções médias semanais.

Capacidade do alcatruz (lts)	TIPO DE MATERIAL		
	Silte - Argila	Areia	Rocha* <10MPa
900	70000 - 100000	40000 - 70000	-
600	50000 - 70000	30000 - 40000	-
400	30000 - 50000	20000 - 40000	10000 - 25000

*Com rosário para rocha

1.2.4. Âmbito de Aplicação

As dragas de alcatruzes podem remover praticamente todo o tipo de solos, bem como terrenos rochosos até resistências à compressão de cerca de 10MPa, se forem dotadas de alcatruzes para rocha. O seu trabalho é contínuo e, devido ao seu sistema de funcionamento, proporcionam uma superfície do fundo dragado bastante regular.

Seguidamente são indicadas as tolerâncias com que trabalham estes equipamentos para diferentes tipos de material a dragar (Tabela II-4).

Tabela II-4 - Tolerâncias de dragagem.

Tipo de material	Tolerância vertical em cm		
	900	600	400
Rocha	-	20	15
Brita	30	25	20
Areia	30	25	20
Argila-Silte	25	20	20

As limitações na utilização das dragas de alcatruzes são devidas ao facto de não suportarem vagas de mar superiores a 0.60-0.80m e dos seus meios de fundeação (cabos) requererem um amplo espaço, restringindo o tráfego. Por outro lado, ao estarem subordinadas aos batelões para o transporte e depósito do material, a sua capacidade para depositar os produtos dragados em recintos está limitada ao calado dos batelões, salvo se a descarga dos batelões em molhe for efectuada com meios mecânicos (gruas, retroescavadoras, etc.) ou mediante um elevador hidráulico. Os custos unitários

de dragagem com estes equipamentos são superiores aos das dragas de sucção em marcha e sucção com corte, pelo que apenas se utilizam nos trabalhos que estas últimas não podem realizar.

Na Europa, a construção de dragas deste tipo está paralisada desde o final dos anos 70, nomeadamente devido a que o seu sistema operativo não admite progressos e melhoramentos substanciais que permitam aumentar a sua produtividade.

1.3. Dragas Escavadoras

1.3.1. Descrição Geral

Consistem, basicamente, em retroescavadoras instaladas sobre um pontão com *spuds* (pernas metálicas) (Figura II-9).



Figura II-9 - Draga escavadora.

Actualmente, os avanços no desenho de grandes retroescavadoras de elevada potência e alcance, permitiram um aumento considerável na produção destes equipamentos que, paulatinamente, estão a substituir as dragas de rosário no campo das dragas mecânicas.

O equipamento de retroescavação começou por ser accionado por cabos. Actualmente, a tendência é a utilização de retroescavadoras hidráulicas (Figura II-10).



Figura II-10 - Draga escavadora.

Nas dragas deste tipo de grandes dimensões, o equipamento de retroescavação é instalado sobre uma bancada de rotação (giro) unida rigidamente ao pontão e estão dotadas de três *spuds* (pernas metálicas) para fixar a draga à obra e absorver os esforços horizontais que se produzem durante o processo de escavação (Figuras II-11 e II-12).



Figura II-11 - Bancada de rotação (giro).

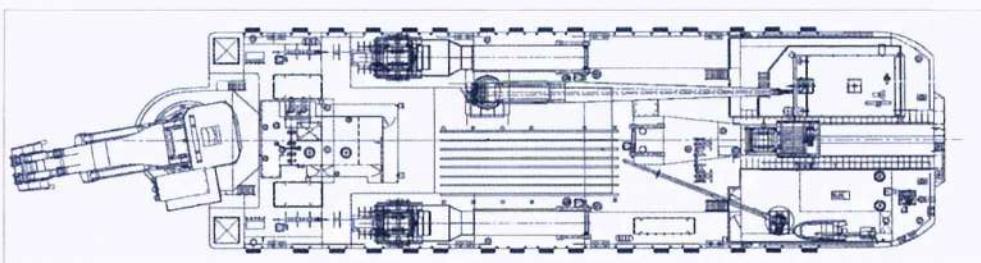


Figura II-12 - Draga com três *spuds* de fixação.

Os *spuds* dianteiros são fixos e o da popa é geralmente instalado numa estrutura que se desloca longitudinalmente ao longo do casco mediante accionamento hidráulico, para permitir a mudança de posição da draga.

A caçamba de dragagem é de grande robustez, construída em aço fundido e dotada de dentes de corte (Figura II-13). O bordo de ataque da caçamba, onde estão instalados os dentes (lábio), costuma ser de aço especial, resistente ao desgaste.



Figura II-13 · Caçambas de dragas escavadoras.

1.3.2. Sistema de Trabalho

Situado o equipamento numa determinada posição, em função da profundidade de dragagem, o braço de escavação desloca-se de modo a que a caçamba escave um sulco no terreno, cuja largura coincide com a da própria caçamba e cujo comprimento é imposto pela amplitude do movimento do braço que a profundidade de dragagem permite (Figura II-14a). Seguidamente, o equipamento gira e eleva a colher, até a situar sobre o batelão atracado no costado da draga, e deposita o material que contém (Figura II-14b).

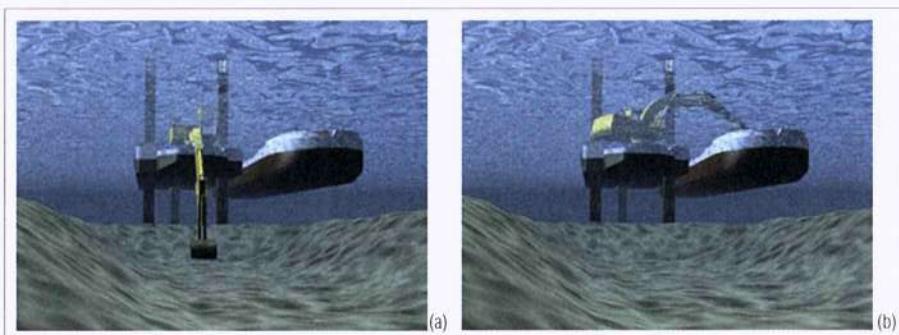


Figura II-14 · Draga escavadora. (a) Caçamba a escavar sulco no fundo. (b) Descarga do material dragado no batelão.

Em cada posição, estas dragas escavam um sector circular e quando a largura do canal de dragagem exceder a amplitude do sector, efectua-se um giro da draga no que diz respeito ao *spud* da popa para ter acesso aos sectores adjacentes para um lado e outro do primeiro (Figura II-15). Estes giros da draga devem ser programados previamente com o objectivo de evitar sobreposições ou deixar espaços sem dragar.

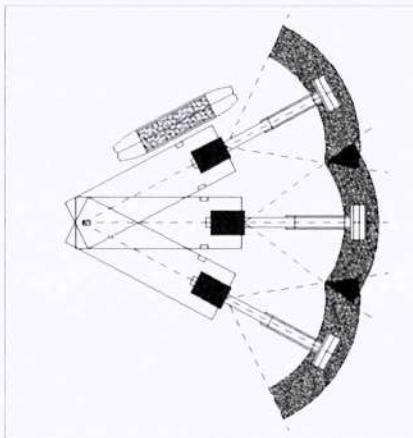


Figura II-15 Esquema de uma draga em funcionamento: escavam um sector circular e quando a largura do canal de dragagem excede a sua amplitude, efectuam um giro de modo a terem acesso aos sectores adjacentes.

1.3.3. Capacidade Produtiva

A produção (P_n) de uma draga escavadora depende da capacidade da caçamba e da duração do ciclo de dragagem, correspondendo à razão entre o volume descarregado (V_n) e a duração do ciclo (T_c):

$$P_n = \frac{V_n}{T_c} \quad (\text{II-2})$$

O volume descarregado pode ser estimado mediante a seguinte equação:

$$V_n = C \cdot c_{II} \cdot c_v \cdot \frac{1}{c_e} \quad (\text{II-3})$$

Sendo:

- Capacidade da caçamba (C)
- Coeficiente de enchimento (c_{II})
- Coeficiente de esvaziamento - vazão (c_v)
- Coeficiente de expansão (c_e)

Os valores típicos das variáveis produtivas são similares aos incluídos na Tabela II-2.

Na Tabela II-5 indicam-se as produções semanais médias para dragas de retroescavação com accionamento hidráulico, medidas em m^3 , em função do tipo de material.

Tabela II-5 - Produções médias semanais para dragas de retroescavação com accionamento hidráulico.

Capacidade da caçamba (m ³)	TIPO DE MATERIAL		
	Silte - Argila	Areia	Rocha ^a <10MPa
20	80000 - 100000	50000 - 80000	-
10	50000 - 60000	30000 - 45000	-
8	40000 - 50000	25000 - 35000	-
6	30000 - 40000	20000 - 30000	10000 - 15000
4	20000 - 25000	15000 - 20000	5000 - 8000

^aCom rosário para rocha

1.3.4. Âmbito de Aplicação

O campo de aplicação deste tipo de dragas é bastante semelhante ao das dragas de alcatruzes. A sua capacidade de remoção de material rochoso é ligeiramente superior à das dragas de alcatruzes, no entanto, a sua resistência às vagas é inferior, sobretudo com correntes de fundo, visto que este gera grandes esforços nos *spuds*, podendo chegar a provocar a sua ruptura. Não obstante, suportam muito bem as correntes. Tendo em conta o seu sistema de funcionamento, não requerem um calado prévio para abrir caminho pelo que podem dragar materiais situados acima do nível de água (Figura II-16). O seu trabalho é descontínuo, o seu rendimento limitado e proporcionam um fundo dragado bastante irregular.



Figura II-16 - Draga escavadora a retirar material acima do nível de água.

Na Tabela II-6 indicam-se as tolerâncias com as quais estes equipamentos trabalham nos diferentes casos.

Tabela II-6 · Tolerâncias de dragagem.

Tipo de material	Tolerância vertical em cm Capacidade da caçamba (m ³)		
	8	6	4
Rocha	-	20	25
Brita	40	30	30
Areia	50	40	30
Argila-Silte	40	30	30

Tal como as dragas de alcatruzes, a sua actividade está subordinada à utilização de batelões para o transporte e depósito do material. A utilização de elevadores para realizar a descarga dos batelões é pouco frequente dado que o tipo de material que é recomendado remover (argila firme, rocha, etc.) não aconselha realizar a descarga mediante sucção.

De acordo com o referido, o seu campo de aplicação costuma ser constituído pelas dragagens onde o depósito seja realizado no mar, ou em recintos acessíveis aos batelões, e que apresentem a seguinte tipologia:

- Dragagem de solos compactos (argilas, margas) e material granular grosso (cascalhos, blocos, etc.);
- Dragagem de materiais-rochosos de resistência limitada ou quebrada previamente, mediante “pega” de fogo;
- Dragagem de canais e valas;
- Remoção de restos de estruturas, enrocamentos e demolição de diques.

1.4. Dragas de Caçamba

1.4.1. Descrição Geral

As dragas de caçamba constam, substancialmente, de uma embarcação que suporta uma grua a qual acciona uma caçamba de mandíbulas que se destina a efectuar a escavação (Figura II-17). A embarcação pode dispor de meios propulsores (Figura II-18), bem como dispor de depósito ou necessitar do auxílio de batelões de carga. Algumas vezes também podem existir várias gruas sobre uma mesma embarcação.



Figura II-17 · Draga de caçamba.

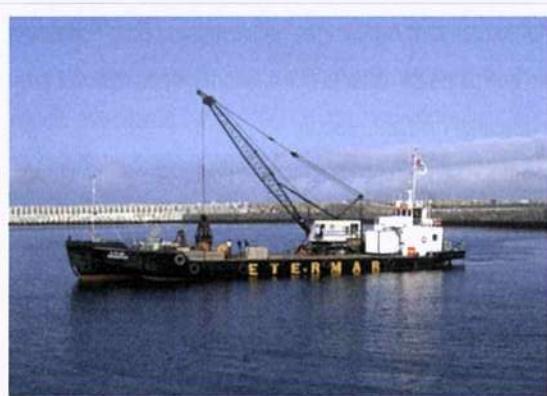


Figura II-18 · Draga de caçamba com propulsão autônoma.

Do mesmo modo que as dragas escavadoras, alguns equipamentos articulados provisórios são constituídos simplesmente por uma grua terrestre, normalmente de lagarta, instalada a bordo de um pontão flutuante. Nas dragas articuladas permanentes, a grua dispõe de uma bancada giratória rigidamente unida ao casco. Têm a grande vantagem de alcançar elevadas profundidades de dragagem, dependendo do comprimento dos cabos que podem armazenar os tambores da grua. Em muitos casos, o seu uso não se destina à obtenção de determinada profundidade (calado), mas sim para a remoção de agregados.

As guias utilizadas nestas dragas costumam ser de tipo *standard* (*Demag, Manitowoc, Liebherr*, etc.) nos seus diferentes modelos e tamanhos, adaptadas para a sua instalação sobre bancada e para as condições de trabalho flutuante sobre pontão.

1.4.2. Sistema de Trabalho

Uma vez situado o extremo da lança da grua na perpendicular do ponto onde se efectuará a dragagem, baixa-se a caçamba de mandíbulas aberta, com a inércia suficiente para que ocorra uma penetração no fundo. Uma vez alcançado o fundo, acciona-se o fecho da caçamba para que as suas mandíbulas cortem o terreno dando lugar à escavação. Uma vez fechada a caçamba, procede-se à sua elevação girando a grua de forma a situá-la sobre o depósito (próprio ou do batelão) onde se pretende descarregar o material mediante a sua abertura (Figura II-19).



Figura II-19 - Caçamba de mandíbulas a descarregar o material num batelão.

Variando o giro da grua e a inclinação da sua lança, pouco a pouco serão realizadas novas escavações até se completar a dragagem da superfície que pode ser alcançada a partir de uma determinada posição da draga. Esta superfície de dragagem (posição) adopta a forma de um sector circular limitado pela máxima e mínima inclinação da lança da grua (alcance) e pelos ângulos de giro para um e outro lado (Figura II-20).

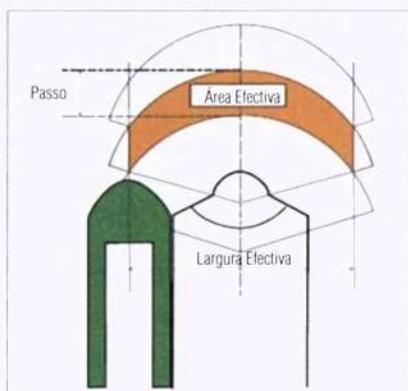


Figura II-20 - Largura e área de dragagem.

As caçambas podem ser de diferentes tipos, tanto por sua forma como pelo seu sistema de accionamento. Quanto às formas, para silte e argilas brandas são utilizadas caçambas articuladas de mandíbulas (bivalves) com bordos planos, que fecham no topo (Figura II-21a). Para areias, argilas e cascalhos o tipo utilizado é o de bivalve com bordos sobrepostos e dotados de dentes. Para rocha, previamente quebrada, utilizam-se caçambas robustas e pesadas dotadas de dentes nos bordos. Para a remoção de peças de grande tamanho (enrocamentos, blocos), utilizam-se caçambas com garras hidráulicas ou de pinças (Figura II-21b).

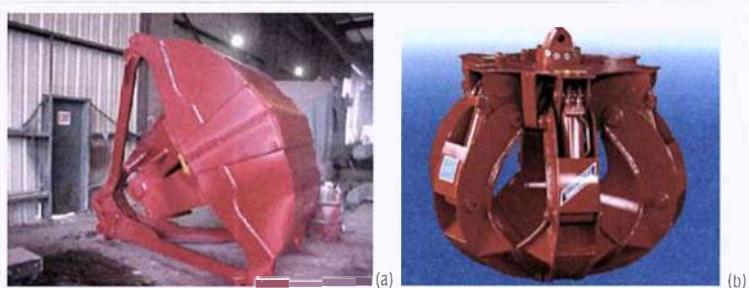


Figura II-21 - Caçambas (a) articuladas de mandíbulas (bivalves) e (b) de garras hidráulicas

O sistema de accionamento condiciona, por sua vez, o tipo de grua necessário. Normalmente são utilizadas caçambas de cabo duplo, nas quais um cabo é o encarregado da descida e abertura e o outro é utilizado para o fecho e elevação, obrigando a ter à disposição gruas de dois tambores. As caçambas de garras normalmente dispõem de accionamento hidráulico para a sua abertura e fecho.

As produções de dragagem com estes equipamentos são semelhantes às das dragas de escavadoras.

1.4.3. Âmbito de Aplicação

Este tipo de equipamentos costuma ser utilizado para trabalhos de dragagem de escasso volume, onde a configuração do local dos trabalho não permite a operação de outras dragas. Somente as dragas equipadas com caçambas de grande tamanho são utilizadas em dragagens de certa importância. Tal como nas dragas mecânicas, o depósito dos materiais dragados realiza-se no mar ou pelo fundo, em recintos compatíveis com o calado dos batelões ou da própria embarcação. O seu melhor rendimento é alcançado em solos pouco consolidados (silte, areias soltas). Caso disponham de caçambas apropria-

das, podem efectuar com sucesso a remoção de rocha quebrada e blocos soltos (enrocamentos). O seu trabalho é descontínuo e de escassa precisão, tanto em planta como em profundidade o seu sistema operativo de escavação (pontual) não permite obter um fundo regular. As tolerâncias de dragagem são superiores às de qualquer outro equipamento mecânico, sendo desaconselhável a sua utilização em zonas com reduzida espessura de material a dragar. Têm a vantagem de alcançar grandes profundidades, dependendo do comprimento dos cabos que os tambores da grua podem armazenar. Tal como referido, em muitos casos o seu uso não se destina à obtenção de determinada profundidade, mas sim à remoção de agregados. O seu desenho simples (grua sobre pontão) faz com que o uso deste tipo de equipamento seja muito comum. O seu maior desenvolvimento foi nos Estados Unidos, país das grandes gruas, onde se utilizam em substituição das dragas de alcatruzes.

1.5. Dragagem Ambiental

O processo de dragagem envolve uma acção sobre o fundo marinho que implica um impacto ambiental na área de trabalho, fundamentalmente associado à suspensão temporária de materiais, tanto na área de dragagem, como na área de descarga (Figura II-22). Os problemas decorrentes da geração de materiais em suspensão durante as operações de dragagem são ainda maiores quando se trata de dragar materiais contaminados.



Figura II-22 · Materiais em suspensão associados às operações de dragagem

No caso das dragas mecânicas, para minimizar o impacto ambiental, foram desenhados diversos

sistemas que permitem reduzir ou confrinhar os materiais em suspensão produzidos durante a operação de dragagem (Figuras II-23 e II-24).

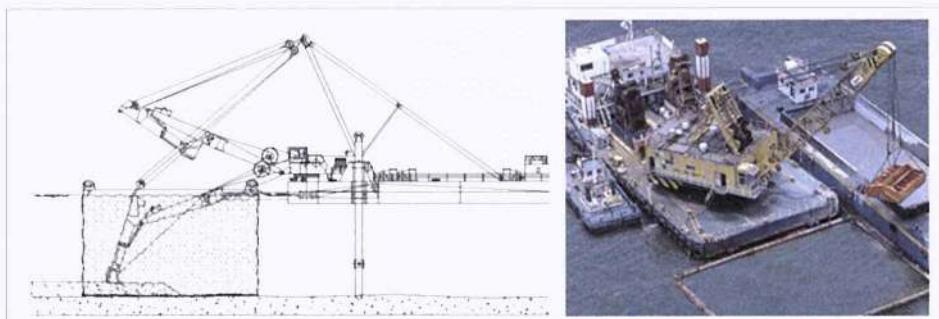


Figura II-23 . Cortinas para diminuição dos materiais em suspensão produzidos durante as operações de dragagem.



Figura II-24 . Caçambas fechadas.

1.6. Controle da Operação de Dragagem

O objectivo de uma dragagem é a obtenção de uma secção teórica de escavação com a maior precisão possível. Um excesso de volume dragado sobre o perfil teórico de projecto, fora das tolerâncias admitidas, implica um sobrecusto na operação de dragagem, que pode ser importante. Por outro lado, a não obtenção dos calados requeridos na totalidade da área de dragagem implica a necessidade de realizar pontualmente novas passagens com rendimentos normalmente inferiores aos obtidos durante a dragagem.

Contrariamente ao que sucede durante os trabalhos de escavação com equipamentos terrestres, o operador da draga não pode visualizar directamente a secção de escavação e necessita dispor de equipamentos auxiliares que lhe permitam controlar a operação à distância. Actualmente existem equipamentos electrónicos muito precisos, que combinam sensores instalados na draga com equipamentos de posicionamento (DGPS), permitindo ao dragador dispor na ponte da draga de informação

instantânea e contínua das variáveis que intervêm no processo (Figura II-25).

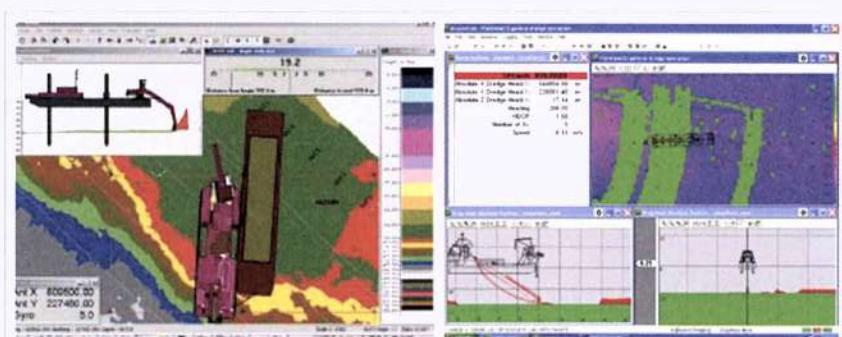


Figura II-25 Equipamentos de controle das operações de dragagem.

1.7. Conclusões

Nesta secção são descritos os principais equipamentos mecânicos de dragagem, as suas características e os seus domínios de aplicação. A selecção em cada caso depende do tipo de material a remover, das características específicas do local de trabalho e da capacidade produtiva pretendida.

2. Equipamentos Hidráulicos de Dragagem

Neste capítulo consideram-se dois tipos diferentes de dragas hidráulicas

- Dragas de sucção em marcha (*trailer*)
- Dragas de corte (*cutter*)

2.1. Dragas de Sucção em Marcha (*trailer*)

2.1.1. Princípios de Funcionamento

Uma draga de sucção em marcha (*trailer*) é uma embarcação com capacidade de dragagem, dotada dos seus próprios meios de propulsão e capaz de poder carregar na sua cisterna uma determinada quantidade de produtos sólidos. Estes produtos são aspirados por um tubo dotado no seu extremo de um cabeçote de sucção cuja primeira finalidade é separar os materiais do fundo marinho. Uma bomba instalada a bordo da embarcação cria o vazio necessário no cabeçote para colocar em suspensão na água aqueles materiais soltos. Então, a mistura água-produto é aspirada e depositada na cisterna da draga (Figura II-26)



Figura II-26 Draga de sucção em marcha.

Durante a operação de dragagem, a draga está em movimento mesmo que a sua velocidade de navegação seja consideravelmente menor do que a sua velocidade normal de cruzeiro. Depois de um período

de dragagem, a draga está cheia de água e de partículas sólidas com uma concentração de cerca de 20 a 30%. Se os produtos dragados têm as características adequadas para se poderem decantar na cisterna da draga, durante a fase de carga, prossegue-se com a dragagem para aumentar a densidade do material na cisterna até se alcançar a volumetria desejada. Estas operações são facilitadas pela existência na cisterna dos dispositivos reguladores da descarga (*overflow*), de tal maneira que nos materiais arenosos, por exemplo, é inútil querer encher a draga além de um determinado nível de carga.

Transporte

Sendo a draga de sucção em marcha uma embarcação dotada da sua própria propulsão, os produtos dragados podem ser transportados sem dificuldade até aos locais de descarga. A velocidade de navegação desde a zona de dragagem até o ponto de descarga depende das características da embarcação podendo, nos equipamentos mais modernos, alcançar os 15 nós.

Descarga

A descarga dos produtos dragados é feita de 2 maneiras diferentes. A primeira consiste em descartar os produtos pelo fundo (no mar). Nesse caso, a draga estará equipada com comportas que podem ser abertas. Existem ainda outros tipos de dragas que se abrem elas mesmas por meio da sua charneira ao longo de todo seu comprimento (*split trailer*). Concluída a descarga, que dura de 5 a 10 minutos, a draga volta a recuperar o seu ciclo de dragagem. A segunda forma de descarga dos materiais transportados consiste em colocar o dragado em suspensão e, por meio da bomba de bordo, bombeá-lo para terra, através de tubos (Figura II-27a) ou lançá-lo por canhões (Figura II-27b).

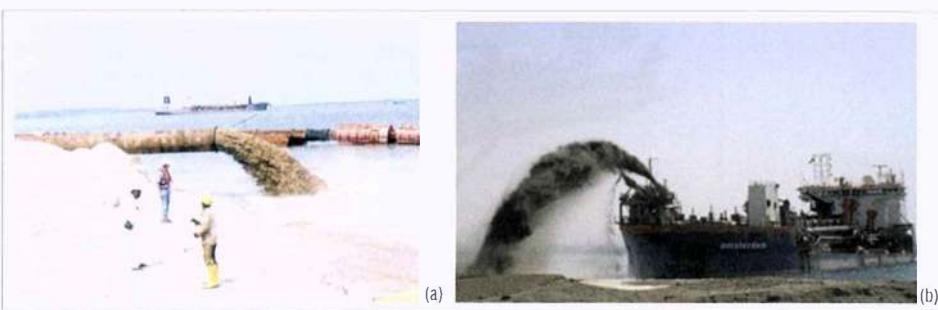


Figura II-27 . Descarga dos materiais (a) por bombagem e (b) utilizando o lançamento por canhões.

2.1.2. Métodos de Trabalho

O método de trabalho utilizado quando se opera com uma draga de sucção em marcha consiste na

realização de longas passagens sobre a zona a dragar ou limpar, salvo quando existam depósitos localizados numa zona específica, em cujo caso os esforços se devem concentrar nesse ponto. A grande vantagem da utilização deste tipo de dragas está relacionada com a forma progressiva e uniforme como que se atinge o calado pretendido ao longo da zona a aprofundar. Pelo contrário, com as dragas estacionárias, o trabalho começa por uma das extremidades da zona a dragar, e avança progressivamente ao longo desta; assim, quando não se conclui o trajecto na totalidade da zona a dragar não se melhora o calado útil, tal como pretendido.

2.1.3. Características Principais das Dragas de Sucção em Marcha

As características fundamentais das dragas de sucção em marcha, também designadas por *trailer*, estão relacionadas com o sistema de dragagem, a draga propriamente dita e o ciclo de dragagem (Tabela II-7).

Tabela II-7 - Características fundamentais das dragas de sucção em marcha.

Características do sistema de dragagem

- capacidade da cisterna
- instalação de dragagem (sucção-impulsão)
- profundidade de dragagem

Características da draga como embarcação

- calado da draga
- coeficiente de carga da draga
- sistema de descarga da draga para o fundo ou por impulsão para terra
- tipo de combustível utilizado

Características do ciclo de dragagem

- sistema de propulsão da draga
 - durante a dragagem
 - durante a navegação

As dragas hidráulicas em geral e as dragas de sucção em marcha em particular são fábricas flutuantes de grande autonomia e caracterizam-se pela grande quantidade de combustível que usam na execução das suas tarefas.

2.1.4. Limites de Utilização das Dragas de Sucção em Marcha

Os limites técnicos da utilização das dragas de sucção em marcha estão implícitos na sua própria

definição. Estas dragas podem operar em mar aberto, mas a sua acção está limitada pelo estado do mar, não somente na sua zona de trabalho - “função dragagem”, mas também na sua zona de descarga – “função transporte”.

2.1.5. Conclusões

Nos últimos anos, as empresas de dragagem construiram dragas de sucção em marcha tentando, por todos os meios possíveis, diminuir os preços da exploração, utilizando este tipo de equipamentos, para que possam ser competitivos no mercado. As medidas mais significativas tomadas, em conjunto com os estaleiros especializados, foram as seguintes:

- aumento da capacidade de dragagem em profundidade (até aos 150 metros);
- aumento da capacidade de carga das dragas, até o máximo actual de 43000m³ ou 75000 toneladas;
- diminuição do peso de construção da draga e, portanto, do seu investimento, à igualdade de carga útil;
- máxima automatização possível de todos os processos de dragagem e da sala de máquinas, de modo a diminuir o custo de pessoal de operação da draga;
- desenvolvimento de procedimentos de controlo do processo de dragagem (posicionamento, controlo de produção, etc.);
- melhoria do sistema de navegação-propulsão, por forma a minimizar as despesas em combustível.

2.2. Dragas de Corte (*Cutter*)

2.2.1. Princípios de Funcionamento

A draga de corte (Figura II-28) consiste num pontão flutuante equipado, num dos seus extremos, com um braço de dragagem, fixado lateralmente por meio de duas âncoras chamadas de giro, e em cuja ponta se instala a ferramenta de corte, ou seja, o *cutter*. No seu outro extremo, o pontão da draga está equipado por duas pernas que lhe permitem assegurar a ancoragem fixa da draga sobre o eixo da dragagem e realizar o avanço (Figura II-28). Trata-se de uma draga do tipo estacionário.

O cortador, colocado em movimento por meio de um motor eléctrico, separa os materiais de fundo *in situ*, e uma ou mais bombas, colocadas em série, colocam os materiais em suspensão, para serem aspirados ao longo de uma tubagem instalada a bordo da draga. Uma dessas bombas, chamada bomba de aspiração, é instalada preferencialmente sobre o braço e, portanto, estará submersa durante todo o processo de dragagem, o que permite aumentar a concentração dos materiais aspirados. Seguida-

mente, e de acordo com os seus destinos, esses materiais são impelidos para os batelões laterais à draga ou, mais frequentemente, para os depósitos em terra, via tubagens flutuantes ou, eventualmente, submersas ou terrestres.



Figura II-28 - Draga de corte.

Na sua forma de trabalhar, o *cutter* é uma combinação de draga de rosário¹ e de draga de sucção, visto que aspira da mesma forma que a draga de sucção estacionária e o cortador (ou a roda de nora) permite o movimento lateral que vai desfazendo os materiais que se opõem ao movimento. O *cutter* dispõe de duas ancoragens laterais dianteiras que lhe permitem o movimento transversal e pernas ou *spuds* que podem ser de deslocamento alternativo circular ou longitudinal.

Quando a embarcação chega ao ponto a dragar, posiciona-se sobre o eixo da zona baixando as pernas de forma a fixá-las e enlaçá-las aos cabos de giro, com as âncoras previamente cravadas nos locais adequados e ligando a tubagem flutuante desde a embarcação à zona de descarga. Em funcionamento, as bombas de sucção aspiram apenas água, antes do início da dragagem. O operário da draga levanta uma perna deixando a outra cravada no fundo. Puxando a âncora de um lado e soltando simultaneamente pelo outro, efectua-se um corte retirando uma faixa ao longo do arco do círculo descrito,

¹O mesmo que draga de alcatruzes.

sendo o produto aspirado pelo tubo de sucção. Se o corte foi "limpo", a embarcação avança; se, pelo contrário, fica material por extrair, a draga volta a efectuar novo corte no mesmo local. A rotação do cortador é realizada em direcção contrária ao movimento da embarcação sobre as pernas, efectuando o corte de baixo para cima. Se se trabalha em terreno brando, o cortador pode trabalhar no giro de volta, realizando o corte de cima para baixo, mas se os terrenos forem duros, não se deve trabalhar dessa forma, pelo que a volta é feita de forma que a cabeça dragadora não entre em contacto com o terreno (Figura II-29).

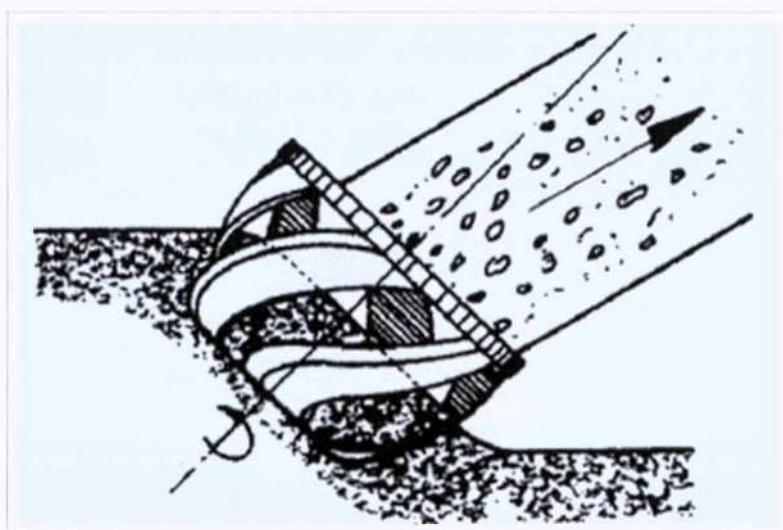


Figura II-29 - Promenor da cabeça da draga de corte.

O avanço é realizado colocando a embarcação numa posição lateral (com a popa no eixo do canal) e baixando a outra perna, que se converte no ponto de rotação da embarcação. Nas dragas que possuem apenas uma perna central e uma auxiliar, a manobra é realizada baixando esta e subindo a de trabalho, que é recolhida até o seu ponto extremo, repetindo-se o ciclo. O sistema de perna central deslocável longitudinalmente dá um melhor resultado em todos os aspectos, sendo o mais usual nas dragas de maior capacidade.

As tubagens são também elementos fundamentais das dragas. São, geralmente, flutuantes e dotadas de ligações, sendo a ligação à embarcação geralmente, feita mediante uma junta de engate rápido. Esta junta permite, em caso de necessidade, deixar passar uma embarcação, bastando, para o efeito, desengatá-la e retirá-la do local com o auxílio de um rebocador de serviço, voltando para a sua posição no mais curto intervalo de tempo possível.

A operação de uma draga do tipo *cutter*, desde o momento em que começa a dragar, consiste, de uma forma simplista, dos seguintes passos: (1) realização do giro e consequente corte de um extremo ao outro; (2) se necessário, retorno à posição inicial e repetição do corte; (3) avanço sobre as pernas; (4) repetição da operação as vezes necessárias até à mudança das ancoragens. O conjunto de operações entre mudanças de ancoragem consecutivas pode ser considerado como um ciclo. Outras vezes, pode ser considerado como ciclo de mudança da situação do depósito, ou seja, da posição da tubagem no que diz respeito ao ponto de descarga.

2.2.2. Elementos Construtivos de uma Draga tipo “*Cutter*”

As características principais de uma draga do tipo *cutter* são: a potência do cortador (Figura II-30), a potência das bombas instaladas a bordo da draga e a profundidade de dragagem.



Figura II-30 · Imagem ilustrativa do cortador utilizado nas dragas do tipo *cutter*.

Potência das bombas

Quando se tratam de terrenos brandos, esta é a característica mais importante destas dragas.

Profundidade da dragagem

As profundidades máximas de dragagem dos maiores *cutters*, actualmente em serviço, são da ordem dos 35m. Os *cutters* são utilizados para obras de primeiro estabelecimento que em poucas ocasiões necessitam da dragagem para essas profundidades. Por exemplo, a escavação de docas na Holanda ou na Bélgica às cotas de 18m, mesmo tendo em conta os cursos das marés, não necessitam dragagens

para maiores profundidades. Os calados máximos, se for possível alcançá-los, são úteis, por exemplo, para trabalhos de preparação da colocação das tubagens submarinas para obras *offshore*, tais como os realizados nos últimos anos no mar Mediterrâneo (por exemplo no Estreito de Gibraltar para a instalação do novo gasoduto do Magreb ou para as tubagens de gás colocadas entre a Itália e a Tunísia ou Líbia).

Propulsão

Algumas dragas, as mais importantes, estão equipadas com um sistema de propulsão que lhes permite não somente deslocar-se no campo da sua actividade de dragagem, mas também navegar em alto mar para serem mobilizadas para outros destinos.

As dragas mais modernas podem ter potência disponível para navegar até 12.5 nós (milhas náuticas/hora). É de assinalar que a deslocação das dragas do tipo *cutter* envolve despesas extremamente elevadas, o que poderá constituir um factor limitativo à sua utilização caso não existam outros trabalhos a realizar na vizinhança da área de intervenção. Deve-se ainda chamar atenção para o facto de que o transporte mais seguro para este tipo de dragas, quando se tratam de distâncias significativas, é a bordo de um pontão submersível, rebocado ou auto-propulsado, que transporte estas dragas ao seu destino.

As pernas

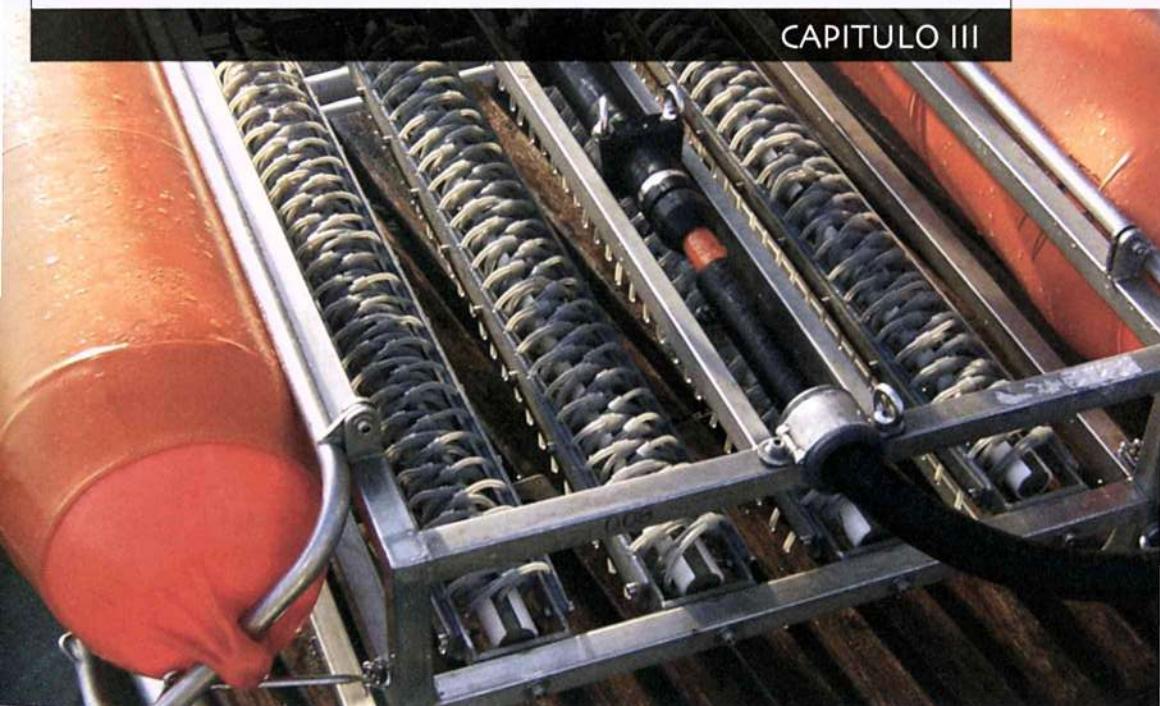
As dragas *cutter* estão dotadas de duas pernas que, conjuntamente, cumprem duas funções essenciais: assegurar um ponto de ancoragem fixo para a draga e ser a estrutura ao redor da qual girará a ferramenta de corte. Esta perna é chamada “perna de trabalho”. A bordo das dragas mais modernas, essa perna é instalada no eixo da draga sobre um *bogie* móvel em relação à draga, que se acciona mediante um pistão hidráulico.

2.2.3. Conclusões

A dragagem com recurso a dragas de corte permite a obtenção de uma superfície contínua nivelada, apresentando vantagens evidentes e, do ponto de vista da execução, poucos inconvenientes. Estas dragas podem penetrar e trabalhar em locais de baixa profundidade e abrir caminho na abertura de novos leitos ou canais. No caso de se estar a trabalhar em pontos de pedra solta ou raízes, por exemplo, deve ter-se especial cuidado na limpeza das caixas de pedra, que deve ser efectuada com frequência para evitar entupimentos.

Processos sedimentares e métodos de monitorização

CAPITULO III



1. Dinâmica Sedimentar

O transporte sedimentar proporciona o ajuste ao longo do tempo da relação morfodinâmica entre a topografia e a dinâmica dos fluidos (Cowell *et al.*, 1999). Para realizar dragagens é importante compreender esta dinâmica sedimentar, pelo que, se referem algumas das principais características e conceitos associados ao estudo do natural transporte de areias por acção das ondas e das correntes e algumas das principais formulações numéricas para a quantificação dos volumes de sedimentos em transporte.

Refira-se ainda que, necessariamente associado ao movimento das areias ao longo das zonas costeiras estão as fontes sedimentares que os rios representam (Figura III-1). São diversas as causas que levam ao balanço sedimentar negativo nas zonas costeiras e consequente recuo generalizado da linha de costa portuguesa. Uma das principais causas apontadas por Silva *et al.* (2007) é a diminuição dos volumes de sedimentos que chegam actualmente à foz dos rios, por efeito das barragens, da extração de areias e do revestimento de margens, entre outras. No entanto, neste documento apresentam-se apenas as questões relacionadas com o transporte de sedimentos já na zona costeira.

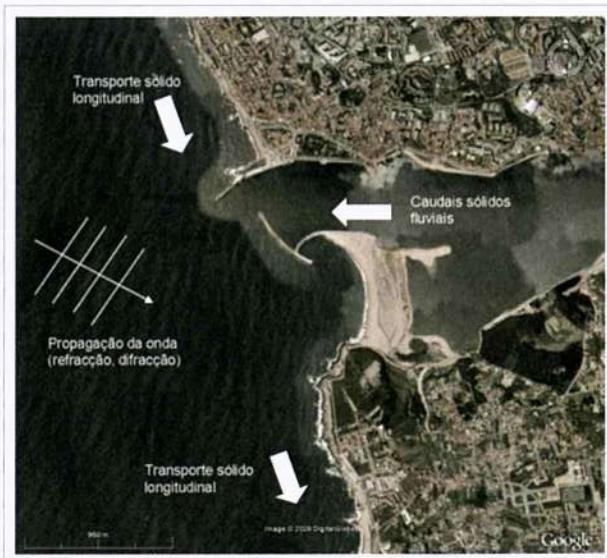


Figura III-1 - Dinâmica sedimentar das zonas costeiras (Foz do Douro
- Imagem retirada do Google Earth).

1.1. Caracterização dos Sedimentos

São as areias (sedimentos não coesivos) que caracterizam a generalidade da zona costeira Portuguesa e é através da água do mar que os agentes do clima de agitação actuam. A interacção entre a água do mar e a costa mantém permanente a dinâmica de transformação da forma das praias e zonas costeiras. O movimento dos sedimentos que existem na praia (emersa e submersa) é que traduz a visível dinâmica da configuração da costa. A dimensão das partículas é um aspecto fundamental na caracterização de diversos processos costeiros (por exemplo, o transporte sólido longitudinal), já que em geral, a esta grandeza estão associadas outras, dependentes dos valores escolhidos para definir a dimensão das areias.

A dimensão dos grãos de areia da praia varia no tempo e no espaço. No Inverno a dimensão dos sedimentos da praia é tipicamente maior do que no Verão. A variabilidade da dimensão dos grãos é também maior na parte da praia deixada a descoberto na maré baixa do que na praia emersa (facto visível na Figura III-2). A dimensão média dos sedimentos é variável ao longo do perfil transversal de uma praia. Numerosos estudos investigaram esta distribuição, que reflecte a topografia dos fundos, a turbulência e dissipação de energia de cada local (Komar, 1976).



Figura III-2 · Variabilidade da dimensão dos sedimentos de uma praia (Coelho, 2005).

A forma de exprimir a dimensão dos sedimentos está generalizada como sendo d_n , onde n representa a percentagem em massa de partículas com dimensão inferior a determinado valor. Os percentis mais relevantes e mais utilizados são em geral o d_{50} (dimensão mediana) e o d_{90} .

1.2. Processos de Transporte Sólido Transversal

Desde o início da investigação da morfologia das praias que se tem estudado a forma do perfil transversal e das propriedades das barras submersas, a posição da linha de costa e a pendente na zona imersa (Villaverde, 1998). As praias naturais, sob a acção de ondas irregulares e para diferentes climas

energéticos de agitação, tendem para perfis de equilíbrio dinâmico, associáveis a estados e sequências de agitação entre ondas, correntes e sedimentos que compõem a praia (Komar, 1976).

Os perfis transversais de praia têm comportamentos sazonais tipificados. As ondas de menor altura, com maior probabilidade de ocorrência no Verão, movimentam a areia ao longo do perfil transversal, depositando sedimentos na praia e geralmente alargando a praia. Pelo contrário, durante períodos de tempestade, em que a altura das ondas e a sua capacidade energética é elevada, podem registar-se fortes erosões em curtos espaços de tempo. Geralmente, nos finais das tempestades, quando a altura das ondas diminui mas mantém ainda longos períodos, existe remoção da areia da praia e formação de bermas submersas, por migração das areias para zonas mais profundas (Figura III-3; Kraus, 1992).

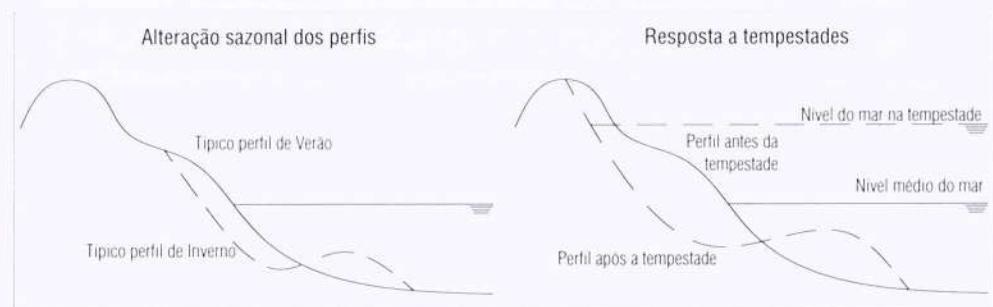


Figura III-3 - Situações típicas de perfis transversais, onde são importantes os processos de transporte sedimentar transversal (adaptado de Dean *et al.*, 2002).

Assim, a análise do comportamento dos perfis transversais relaciona-se fundamentalmente com evoluções a curto prazo e relação entre comportamentos Verão/Inverno, ou em períodos de tempestade (Figura III-3). No entanto, associados aos perfis transversais estão conceitos importantes na análise e modelação de comportamentos longitudinais e em planta, e previsões de evolução a médio e longo termo.

Outra análise dos perfis transversais poderá ser realizada na perspectiva de erosões ou acreções persistentes durante um longo período de tempo, originada pela alteração das condições de transporte sedimentar, até que se atinja um novo equilíbrio. O caso da construção de um esporão é um exemplo, já que impede a transposição de sedimentos durante um período de tempo após a sua construção, originando deposição de sedimentos a barlamar e défice de sedimentos a sotamar (Figura III-4).

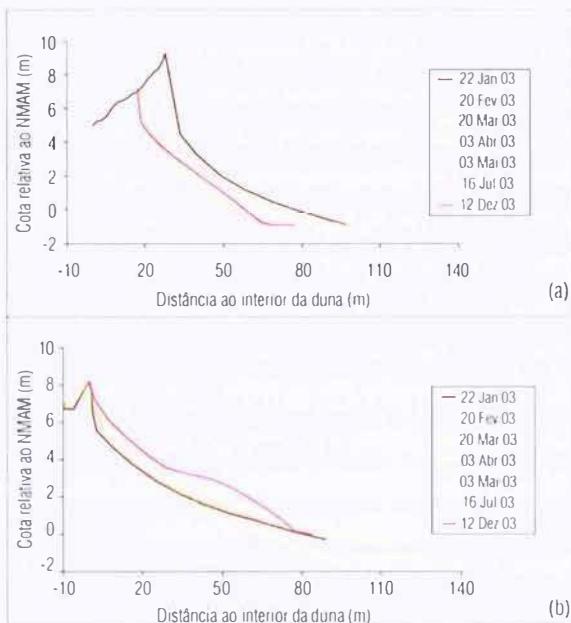


Figura III-4 Alteração continuada dos perfis transversais nas proximidades do esporão do Areão, imediatamente após a construção do mesmo, mostrando (a) a acreção a barlamar e (b) a erosão a sotamar do esporão (levantamentos fornecidos por Sónia Rey, e realizados no âmbito do projecto CROP - PDCTMP/MAR/15265/1999).

1.2.1. Inclinação da Face da Praia

Segundo Ferreira (1998), os estudos sobre a inclinação da face da praia ter-se-ão iniciado nos anos 30 do século XX, mas apenas nas décadas de 60 e 70 se começaram a estudar os principais factores responsáveis pelas variações do pendor da praia. Os factores que influenciam a inclinação da praia serão principalmente a dimensão do grão dos sedimentos e as características das ondas (altura, período e declividade). O nível de maré, o lençol freático da praia e a velocidade de corrente longilitoral serão outros factores significativos.

Hughes e Turner (1999) referem que é raro observar na natureza uma praia que exiba uma inclinação uniforme e plana, pois as praias são tipicamente côncavas e as inclinações variam entre as diversas formações ao longo da costa (cúspides, etc.). Apesar desta subjectividade, a definição de uma inclinação representativa da face da praia é um conceito útil para numerosas aplicações. Hughes e Turner (1999) indicam que as características da praia podem ser adoptadas em qualquer localização, como a zona entre marés, ou desde a linha de costa em baixa-mar e a crista da berma ou a base da duna. Para Ferreira (1998), a face da praia localiza-se na zona de transição entre a praia emersa e a praia

submersa, correspondendo à área afectada pelo espraiado da onda no decurso do ciclo de maré. Esta coincidirá frequentemente com a extensão de praia que se estende desde o nível mais baixo atingido pela maré, até à crista da berma.

Para Komar (1976), o equilíbrio da inclinação da praia depende fundamentalmente da quantidade de água perdida por percolação no espraiado das ondas. O nível de percolação é governado essencialmente pela dimensão de sedimentos, já que as praias com areias de maior dimensão são mais permeáveis e as praias compostas por areia mais fina serão menos permeáveis. Assim, resulta que nas praias de areia mais grossa a acção de retorno do espraiado das águas (refluxo) é reduzida e consequentemente a sua inclinação é maior. Na realidade, verifica-se que a inclinação da praia é normalmente maior para condições de ondulação que gerem acreção (ondas de menor altura) e que em condições de temporal (ondas de maior altura), a inclinação da praia torna-se mais suave (Kraus, 1992). As formulações numéricas de diversos autores (Sunamura, 1984; Kamphuis *et al.*, 1986; Kriebel *et al.*, 1991) revelam tendências de inclinações crescentes com a dimensão do grão dos sedimentos e decrescentes com a altura das ondas na rebentação (Coelho, 2005).

1.2.2. Perfil Activo

O perfil activo está intimamente ligado com o conceito de profundidade activa, a qual também define desde logo a posição da largura activa do perfil. Numa definição lata, esta pode ser considerada a região do perfil transversal onde existem alterações de batimetria. A definição de profundidade no perfil activo pode ser entendida de diferentes formas, um pouco em função do uso que se pretende dar ao valor da profundidade. Assim, profundidade de fecho, profundidade crítica, profundidade activa de movimento de sedimentos, profundidade máxima de erosão ou profundidade limite do processo de erosão das ondas são diferentes expressões que frequentemente se utilizam para designar a mesma noção.

A profundidade de fecho, correntemente definida como a profundidade a partir da qual não existem alterações significativas de cotas dos fundos, deixa um espaço considerável para diferentes interpretações. As alterações na batimetria e consequentemente na profundidade de fecho dependem das ondas, marés e outras acções hidrodinâmicas. Assim, considerar um valor único da profundidade de fecho para um trecho de costa pode até ser um pressuposto inválido (Morang e Parson, 2002).

Na ausência de medições no campo das variações da secção transversal dos perfis, para a determinação da profundidade de fecho será necessário aplicar expressões que permitem a estimativa dessas profundidades. As mais comuns são a fórmula de Hallermeier, de 1978 (Equação III-1), e a de Birke-meier, de 1985 (Equação III-2), que relacionam a profundidade de fecho, h_c do perfil transversal com

a altura da onda, H_s , o respectivo período, T , e a aceleração da gravidade, g (Coelho, 2005).

$$h_c = 2.28H_s - 68.5 \left(\frac{H_s^2}{gT_{H_s}^2} \right) \quad (\text{III-1})$$

$$h_c = 1.75H_s - 57.9 \left(\frac{H_s^2}{gT_{H_s}^2} \right) \quad (\text{III-2})$$

Hallermeier propôs que a estimativa da profundidade de fecho obtida pela expressão III-1 fosse utilizada em relação ao nível de maré baixa, atingindo assim maiores profundidades do perfil transversal (Morang e Parson, 2002). Na formulação original e com o objectivo de projecto, a profundidade era calculada para alturas significativas de onda junto à costa (aproximadamente a 10m de profundidade) excedidas apenas 12h/ano (0.137% do tempo). Em termos de projecto, os valores obtidos pela expressão de Hallermeier são mais conservativos e por isso, mais recomendáveis como primeiro método de cálculo. Os valores de h_c obtidos pela equação de Hallermeier excedem em cerca de 30% os valores obtidos pela equação de Birkemeier (Coelho, 2005).

1.2.3. Perfil de Equilíbrio

Desde o início do século XX que as semelhanças observadas em perfis transversais à costa, conduziram ao conceito de equilíbrio em determinadas condições de praia. Este conceito foi aplicado à forma média dos perfis (Bruun, 1954; Dean, 1977) e à evolução da forma dos perfis durante tempestades (Edelman, Van de Graaff, Vellinga, referidos em Coelho, 2005). No entanto, o conceito de um perfil de praia de equilíbrio sempre foi criticado, já que na natureza, as acções que afectam o equilíbrio estão sempre em mudança, tal como as marés, as ondas, correntes e ventos. Embora isto seja verdade, o conceito de um perfil de equilíbrio é uma das valiosas ferramentas da engenharia costeira. Muitos dos poderosos conceitos e relações de projecto são baseadas na noção de perfis de equilíbrio (Morang e Parson, 2002).

Sob condições onde não existe gradiente de transporte longitudinal, o transporte transversal à praia origina apenas uma redistribuição de areia pelo perfil, mas não conduz a ganhos ou perdas de sedimentos. A maioria dos métodos aplicados à previsão de alterações do perfil transversal asseguram que o volume de areia total é conservado no perfil activo, de forma a que, a erosão da face de praia exposta seja compensada por deposição na parte submersa da praia, ou que a acreção na face de praia exposta seja acompanhada por erosão na zona de rebentação. Quando existe um gradiente no transporte longitudinal, é então comum a hipótese de que o perfil avança ou recua uniformemente em toda a extensão

activa do perfil, mas mantém a sua forma. Deste modo, o volume de sedimentos pode ser somado ou removido do perfil, sem alterar a forma do perfil activo. Assim, a maioria dos métodos que tratam as alterações dos perfis de praia lidam separadamente com as componentes de transporte longitudinal e transversal, de maneira que a forma e localização do perfil final é determinada por sobreposição de ambos os efeitos (Morang e Parson, 2002).

Bruun (1954), partindo do pressuposto de dissipação uniforme da energia das ondas e baseado no estudo de perfis na Dinamarca e em Monterey Bay, na Califórnia, chegou a uma forma geral de equilíbrio expressa por:

$$h = Ax^m \quad (\text{III-3})$$

onde h representa a profundidade à distância x , medida desde a linha de costa em nível médio, ou seja, no caso da costa portuguesa, à cota +2.0m (ZH). Dean (1977) confirmou a representatividade desta expressão na forma dos perfis de um grande número de praias da costa americana do golfo do México e da costa este-americana (costa atlântica), quando a dissipação da energia das ondas por unidade de volume de água é a acção dominante. A utilização do modelo de Dean tem sido generalizada desde então, essencialmente no projecto de alimentação artificial de praias, no caso de praias arenosas, onde os gradientes de transporte longitudinal se possam considerar desprezáveis (Coelho, 2005).

O expoente m da expressão III-3 pode tomar diferentes valores, em função do tipo de dissipação da praia em análise. Bruun (1954) e Dean (1977) propuseram $m=2/3$, valor que se generalizou. No entanto, conforme o exposto por Cowell *et al.* (1999), diferentes autores apontam o valor de $m=2/5$ para as praias reflectivas e $m=4/5$ para praias dissipativas. Para as praias intermédias, que representarão a generalidade da costa Oeste portuguesa, as propostas são mais variadas ($m=1/2$, $m=4/7$ ou $m=2/3$). A forma do perfil será mais ou menos pronunciada em função deste expoente, que se relaciona com a reflectividade da praia. O declive é menor nas praias dissipativas e mais acentuado nas reflectivas. Ainda na Equação III-3, A é um parâmetro de escala dos sedimentos, sendo expresso em $\text{m}^{1/3}$.

A grande vantagem da expressão III-3 reside no facto de considerar apenas necessária a quantificação de um parâmetro relacionado com a dimensão dos sedimentos, para fazer a representação do perfil de equilíbrio. Este método apresenta a desvantagem de considerar uma inclinação infinita no ponto inicial de representação do perfil e também o facto da forma do perfil ser monotónica. Outros modelos foram propostos, incluindo pendentes de praia ou dividindo o perfil em duas partes ligadas por uma barra.

1.2.4. Regra de Bruun

A subida do nível da água causa um desequilíbrio no perfil transversal. Admitindo a natureza côncava da parte superior do perfil, facilmente se verifica que a profundidade a uma distância de referência par-

ticular do contorno da nova costa passa a ser maior do que antes do nível de água subir. Se o perfil de equilíbrio fosse plano, então a subida do nível de água não mudaria a profundidade a uma determinada distância da nova linha de costa e não haveria nenhum desequilíbrio. Sem a introdução adicional de sedimentos no sistema, o único modo no qual o perfil retorna ao equilíbrio é por recessão da linha de costa, cedendo sedimentos para encher o fundo para uma profundidade consistente com o perfil de equilíbrio e o novo (elevado) nível de água (Morang e Parson, 2002).

Bruun (1962) desenvolveu um modelo de ajuste do perfil transversal de uma praia à subida do nível do mar. Considerou que à medida que o material da praia vai sendo erodido, se vai depositando em zonas mais fundas, havendo uma evolução do perfil no sentido do território emerso. A subida do nível dos fundos por deposição da areia acompanha a subida do nível do mar, mantendo a profundidade das águas constante (Komar, 1976). Desta forma, a massa conserva-se no perfil transversal, sendo o volume de erosão igual ao de deposição. Este é um pressuposto fundamental na modelação de perfis transversais. Bruun propôs que a “resposta” do perfil à subida do nível do mar se traduzia num recuo (R) da posição da linha de costa (Equação III-4 e Figura III-5).

$$R = S \frac{W}{h + B} \quad (\text{III-4})$$

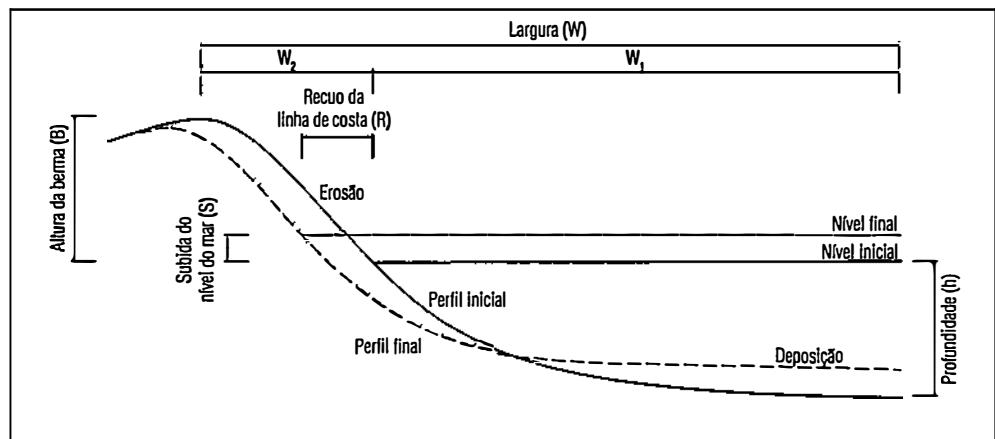


Figura III-5 · Efeito da subida do nível médio da água do mar na erosão costeira, segundo Bruun (adaptado de Komar, 1976).

1.3. Processos de Transporte Sólido Longitudinal

Quando as ondas se aproximam obliquamente da costa são geradas correntes longitudinais (deriva litoral) que, juntamente com as ondas, são capazes de transportar avultadas quantidades de sedimentos

(Fredsøe e Deigaard, 1992). Isto deve-se a dois mecanismos: o arrastamento pelas correntes na zona próxima da praia e o transporte na zona de rebentação das ondas (Figura III-6). A acção das ondas incidentes movimenta a areia ao longo da praia, na direcção da onda. Quando há o retorno ou refluxo, a água e os sedimentos são arrastados na direcção de maior inclinação, perpendicular à praia. Este processo é no entanto difícil de traduzir em volume de areia transportada.

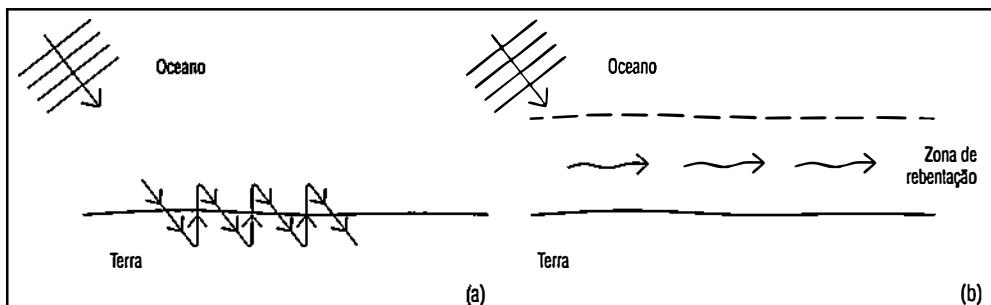


Figura III-6 · Processos de transporte longitudinal. (a) Transporte por arrastamento junto à praia; (b) Transporte na zona de rebentação.

A turbulência na zona de rebentação coloca os sedimentos em suspensão, os quais podem ser transportados pelas correntes longitudinais geradas na rebentação das ondas. Juntamente com os sedimentos em suspensão, são transportados sedimentos junto ao fundo. Assim, o transporte sedimentar na costa pode ser dividido em transporte originado pela acção das ondas (agitação) e transporte pelas correntes (por exemplo, originadas pelas marés). Em cada uma destas divisões, existirá uma parcela de transporte de sedimentos em suspensão e outra de sedimentos arrastados junto ao fundo. Neste documento procede-se apenas a uma apresentação sumária de algumas das expressões que estimam os volumes de transporte sólido em cada uma das parcelas.

1.3.1. Aspectos Físicos e Sedimentológicos

Na coluna de água, as características de concentração de sedimentos vão variando. Para que seja possível avaliar uma concentração admissível de sedimentos é necessário definir uma altura, considerada de referência, em que se admite nula a variação da concentração de sedimentos. Esta concentração de sedimentos c_a (relação entre volumes) será constante até à altura a . Para pequenas profundidades, a forma do fundo é importante e condiciona o nível de referência, resultando valores diferentes para fundos lisos, com rugas ou em forma de dunas. Os fundos lisos ocorrem para altas velocidades de corrente em águas pouco profundas ou sob acção intensa das ondas. Na Figura III-7, Δ representa a

altura das formas do fundo. A velocidade de corrente ao longo da coluna de água é variável e pode ser esquematizada segundo o perfil logarítmico que também se visualiza na Figura III-7.

Para ter noção da importância da profundidade na avaliação do transporte sólido longitudinal, refere-se que, para as mesmas condições de agitação marítima, a zonas mais profundas corresponde uma menor carga sedimentar transportada. A redução da profundidade provoca um aumento exponencial dos sedimentos transportados.

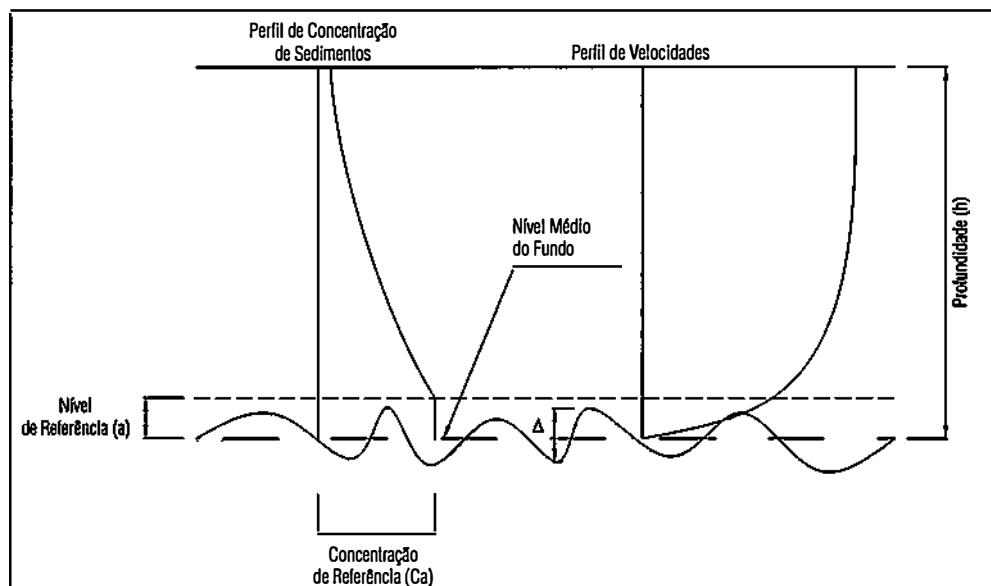


Figura III-7 . Esquema da variação de concentração de sedimentos e das velocidades em profundidade (adaptado de van Rijn, 1989).

A tensão tangencial no fundo surge da acção das forças hidrodinâmicas de atrito (τ_c), exercidas pela corrente sobre o fundo. Esta tensão pode ser expressa pela velocidade de atrito da corrente junto ao fundo (u_*), cujo valor é importante na resolução destes problemas (Equação III-5). Nesta expressão, ρ representa a massa volúmica da água. Associada à velocidade da corrente está também a definição da direcção da corrente, que é variável ao longo do tempo.

$$u_* = \left(\frac{\tau_c}{\rho} \right)^{0.5} \quad (\text{III-5})$$

A altura de uma onda vai variando ao longo do tempo. A maior contribuição para o processo de transporte sedimentar advém das ondas mais altas. Associada à onda e à sua altura, está a direcção ou rumo

com que esta se propaga. O período de onda é outro dos parâmetros a considerar na problemática dos fenómenos de transporte sedimentar. Tal como para a altura de onda, podem ser trabalhados diversos valores de período de onda, sendo corrente a utilização do período de pico.

As ondas vão gerar velocidades no meio fluido, surgindo o conceito de velocidade orbital da onda, que actua sobre os sedimentos, junto à camada de fundo. Esta velocidade é oscilatória e tem particular relevo quando as ondas actuam em águas pouco profundas (onde a acção da onda é significativa no transporte junto ao fundo), ou seja, para alturas de onda significativa superiores a um décimo da profundidade. A velocidade orbital tenderá a ser nula para águas profundas.

1.3.2. Transporte por Correntes Junto ao Fundo

O transporte por correntes junto ao fundo é bastante similar ao processo de transporte em rios e, por isso, apresenta estudos e comportamentos melhor caracterizados.

Meyer-Peter e Müller (1948) realizaram um extenso trabalho experimental em laboratório. Concluíram que a expressão que melhor permite o cálculo da carga transportada pelas correntes junto ao fundo ($q_{b,c}$) é:

$$q_{b,c} = 8[(s - 1)g]^{0.5} d_{50}^{1.5} (\mu\theta - 0.047)^{1.5} \quad (\text{III-6})$$

onde μ é um factor de forma do fundo e θ é um parâmetro da mobilidade efectiva das partículas, semelhante ao parâmetro crítico de Shields. s representa a relação entre a massa volúmica dos sedimentos e da água do mar e g a aceleração da gravidade.

Devido à sua simplicidade, apresenta-se também o modelo de cálculo do transporte da carga do fundo originado por correntes segundo a teoria de Frijlink (Equação III-7).

$$q_{b,c} = 5\mu^{0.5} u_{*,c} d_{50} e^{(-\frac{0.27}{\mu\theta})} \quad (\text{III-7})$$

Nesta expressão, além das grandezas já expostas, surge o conceito de velocidade de corrente tangente ao fundo ($u_{*,c}$).

Bagnold (1966) introduziu o conceito de balanço de energia, relacionando o transporte de sedimentos no fundo com o trabalho realizado pelo fluido. Segundo este autor, a carga transportada junto ao fundo poderá ser obtida por aplicação da expressão:

$$q_{b,c} = \frac{e_b}{(\rho_s - \rho)g(tan\phi - tan\beta)} \bar{T}_c u_c \quad (\text{III-8})$$

e_b é um factor de eficiência, cujo valor a adoptar deverá ser aproximadamente igual a 0.1; ϕ é o ângulo de atrito do material do fundo, pelo que pode adoptar-se para $\tan\phi$ um valor aproximado de 0.6, já que normalmente o ângulo de atrito dos sedimentos toma um valor próximo de 30º; β é o ângulo da inclinação do fundo, ρ_s e ρ representam respectivamente a massa volúmica dos sedimentos e da água, τ_c e u_c são respectivamente a tensão tangencial no fundo e a velocidade de atrito no fundo, devidas às correntes.

1.3.3. Transporte Total Devido ao Efeito das Correntes

Os modelos de transporte sedimentar que se expõem de seguida, associam ao transporte junto ao fundo uma parcela correspondente a sedimentos em suspensão.

Mantendo o conceito de balanço de energia, Bagnold (1966) propôs um modelo de cálculo da carga em suspensão. Este autor sugere o cálculo independente da carga transportada junto ao fundo e da carga suspensa, e permite a soma das parcelas no cálculo total do transporte. A carga transportada em suspensão pode ser obtida por aplicação da expressão III-9, surgindo mais um factor de eficiência, e_s , que deve ser considerado próximo de 0.02 e a velocidade de queda das partículas, ω_s ,

$$q_{s,c} = \frac{e_s(1 - e_b)}{(\rho_s - \rho)g} \left(\frac{\omega_s}{u_c} - \tan\beta \right) \bar{\tau}_c u_c \quad (\text{III-9})$$

O método de Engelund e Hansen (1967) é baseado em considerações de energia e calibrado com dados obtidos em cerca de cem experiências em canal (van Rijn, 1989). O transporte total originado por correntes segundo a teoria de Engelund e Hansen (1967) é avaliado da Equação III-10, onde C representa o coeficiente de Chézy.

$$q_c = \frac{0.05u_c^5}{(s - 1)^2 g^{0.5} d_{50} C^3} \quad (\text{III-10})$$

A fórmula empírica proposta por Ackers e White (1973) resume o resultado de 925 experiências de campo e em laboratório (van Rijn, 1989). Para proceder ao cálculo do transporte sólido originado por correntes segundo a teoria deste modelo, é necessário conhecer uma série de parâmetros auxiliares (k_i), dependentes principalmente da granulometria dos sedimentos do fundo. A expressão que permite o cálculo da carga transportada é a III-11.

$$q_c = k_1 u_c d_{35} \left(\frac{u_c}{u_{*,c}} \right)^{k_2} \left(\frac{k_4 - k_5}{k_5} \right)^{k_3} \quad (\text{III-11})$$

1.3.4. Transporte Total Devido ao Efeito das Ondas e das Correntes

A ondulação sobre uma camada de areia é capaz de gerar a suspensão de sedimentos, com concentrações elevadas junto ao fundo. Este facto, conjugado com as correntes geradas por marés, ventos e ondas, aumenta as concentrações de sedimentos em camadas superiores. Bijker (referido em van Rijn, 1989) foi dos primeiros a detalhar um método de cálculo das taxas de transporte por combinação dos efeitos de correntes e ondas. van Rijn (1989) apresenta um modelo de cálculo da carga transportada bastante elaborado, onde analisa por partes as diferentes parcelas intervenientes no processo. Para o cálculo da carga transportada em suspensão, este autor propõe uma solução numérica correspondente à área do produto do perfil de velocidades e do perfil de concentração de sedimentos (Figura III-7), ou uma solução aproximada do cálculo do integral correspondente ao perfil que resulta desse produto. A carga transportada junto ao fundo pode calcular-se após a determinação das tensões tangenciais efectivas no fundo devido a ondas e correntes. Para a determinação das tensões no fundo devidas a ondas será necessário proceder a uma longa sequência de cálculos. Para as correntes, o procedimento é análogo. A tensão tangencial efectiva total no fundo resulta da soma dos efeitos de ondas e correntes.

Com esta tensão e o parâmetro adimensional de excesso de tensões tangenciais no fundo, T' (deverá tomar um valor não inferior a 0.0001), pode-se aplicar a expressão que permite o cálculo da carga transportada junto ao fundo pela ação simultânea de ondas e correntes (q_b). Na expressão III-12, D_* representa o parâmetro adimensional que caracteriza a dimensão dos grãos.

$$q_b = 0.25 u_* d_{50} \frac{T'^{1.5}}{D_*^{0.3}} \rho_s \quad (\text{III-12})$$

A parcela correspondente ao transporte em suspensão (q_s) subdivide-se em duas partes. Analisa-se primeiro a originada pelas ondas, definindo-se uma distribuição de mistura de sedimentos em função da profundidade. De modo análogo, para as correntes é também possível definir a distribuição de sedimentos em profundidade. Como foi já referido, a carga transportada em suspensão corresponde à área definida graficamente pelo produto de velocidades ($u_{c,z}$) e concentração de sedimentos (c_z) entre o nível de referência a e a altura h da coluna de água (ver Figura III-7). A tradução matemática deste enunciado é apresentada na forma do integral da Equação III-13:

$$q_s = \int_a^h u_{c,z} c_z dz \quad (\text{III-13})$$

van Rijn (1989) propõe duas alternativas para resolver o integral. A primeira é a solução numérica cor-

respondente à soma das áreas do gráfico do produto das velocidades pelas concentrações. A segunda corresponde a uma solução aproximada do cálculo do integral, em função da expressão seguinte:

$$q_s = (F_c + F_w) u_c h c_a \rho_s \quad (\text{III-14})$$

Nesta expressão, F_c e F_w representam respectivamente as variáveis auxiliares relacionadas com o efeito de correntes e ondas, e c_a representa a concentração de sedimentos e suspensão no nível de referência a (Figura III-7). Naturalmente, o total de carga transportada por correntes e ondas (q_t) resulta da adição das parcelas correspondentes ao transporte junto ao fundo (q_b) e ao transporte de material em suspensão (q_s).

Soulsby (1997) seguiu o trabalho desenvolvido por van Rijn nas décadas de 80 e 90 e em conjunto apresentam um novo modelo. Este modelo considera o cálculo do transporte de sedimentos originado por ondas e correntes em simultâneo. A relação da carga total transportada é dada pela expressão III-15.

$$q_t = A_s u_c \left[\left(u_c^2 + \frac{0.018}{C_D} u_{rms}^2 \right)^{\frac{1}{2}} - u_{cr} \right]^{2.4} (1 - 1.6 \tan \beta) \quad (\text{III-15})$$

onde A_s traduz a soma dos efeitos do transporte em suspensão e junto ao fundo. Para o perfeito entendimento da Equação III-15 é necessário ainda definir o coeficiente de arrastamento devido ao efeito das correntes (C_D).

1.3.5. Análise de Sensibilidades e Comparação entre Modelos

Como se verificou, a tentativa de explicação matemática e física dos fenómenos de transporte sedimentar ao longo da costa já existe com algum relevo desde os meados do século XX. No entanto, pela complexidade envolvida, os resultados não são ainda os melhores e existem diferenças importantes consoante os pressupostos adoptados. Apresentam-se alguns exemplos de cálculo, mantendo alguns pressupostos comuns a todos os exemplos e recorrendo ao método de Soulsby e van Rijn (expressão III-15). Assim, considerou-se a água do mar a 10°C e com 35 partes por mil de salinidade, o fundo foi admitido plano, as ondas foram consideradas com um período de 10s e a incidir com um ângulo de 90° em relação à direcção das correntes. A altura do nível de referência foi de 1% da profundidade, sendo a espessura da camada de fundo com mistura constante de sedimentos igual a 10cm e a rugosidade relativa, relacionada quer com as ondas, quer com as correntes, admitida igual a 5cm. Fez-se variar a dimensão média dos sedimentos, considerando-se sempre que o valor de d_{50} era duplo do valor de d_{90} .

Da análise da Figura III-8 pode-se concluir que, quando a velocidade de corrente é pequena e não existem ondas, não se criam condições de transporte de sedimentos. O aumento da profundidade conduz a reduções importantes da carga transportada por redução do efeito da acção das ondas. Assim, a uma profundidade de 10m, para ondas com alturas significativas de 6m os sedimentos transportados passam a ser menos de 40% do que os registados para a profundidade de 5m. Reduzindo a acção das ondas ($H_s = 1.5\text{m}$), então este efeito ainda é mais significativo, passando os valores a ser abaixo dos 25% dos registos para a profundidade de 5m.

Tendo em atenção os gráficos das Figuras III-8c) e III-8d), nota-se a importância da velocidade de corrente. A comparação destes gráficos com os das Figuras III-8a) e III-8b) ilustra aumentos importantes da carga sedimentar transportada. Para ondas com $H_s = 6\text{m}$ o acréscimo de sedimentos transportados aproxima-se de 400%, enquanto que para menores agitações a importância do aumento da velocidade de corrente é ainda mais significativa. Para velocidades de corrente de 1.0m/s o aumento da profundidade provoca variações diferentes das registadas para as velocidades de 0.3m/s. Assim, para agitação elevada ($H_s = 6\text{m}$) a redução de transporte com o aumento da profundidade é, para valores de cerca de 40% dos registados aos 5m de profundidade, próximo do obtido com as velocidades de corrente de 0.3m/s. Para menor nível de agitação, a corrente passa a ser predominante no efeito de transporte, conduzindo a menores reduções no transporte. Para alturas de onda significativa de 1.5m, o transporte

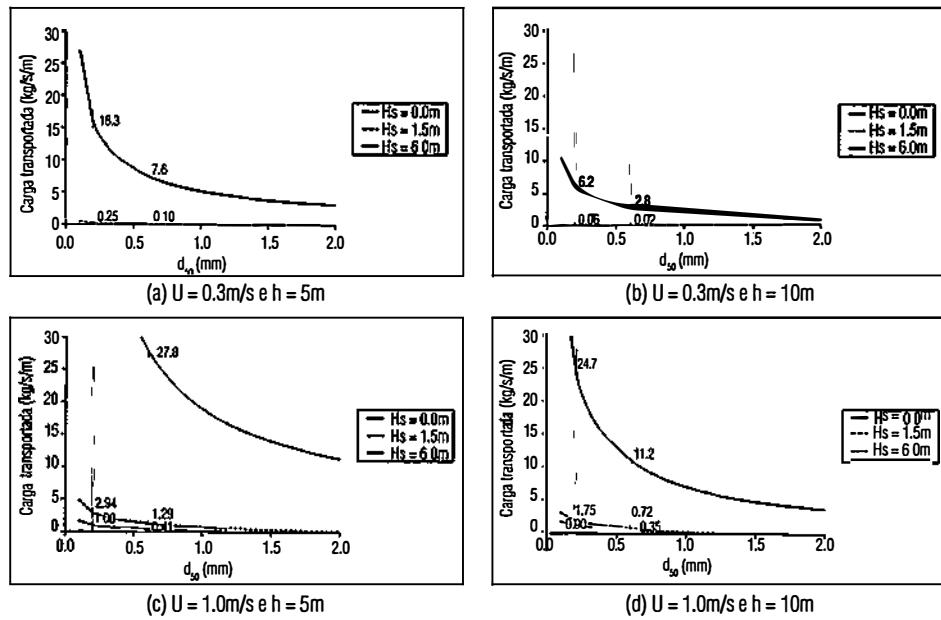


Figura III-8 - Carga sedimentar transportada em diferentes condições de ondas, correntes e profundidades.

em 10m de profundidade passa a ser de cerca de 60% do obtido aos 5m de profundidade, e para a situação de não haver ondas os valores passam a ser de 85% a 90% dos valores registados com 5m de profundidade. Realça-se ainda a importante redução de transporte com o aumento da dimensão dos sedimentos. Na gama de 0.2mm a 0.6mm a redução da carga é superior a 50%, qualquer que seja a situação de agitação e velocidades de corrente.

Para situações idênticas de modelação, foram comparados os resultados obtidos entre os diferentes métodos expostos (Figura III-9). Fez-se variar a dimensão média dos sedimentos entre os 0.2mm e os 0.7mm, considerando-se sempre que o valor de d_{50} era duplo do de d_{50} . Por simplicidade, para o modelo de Ackers-White (1973) considerou-se que o valor de d_{35} era de 75% da dimensão mediana. Em todos os casos se considerou a profundidade igual a 5m.

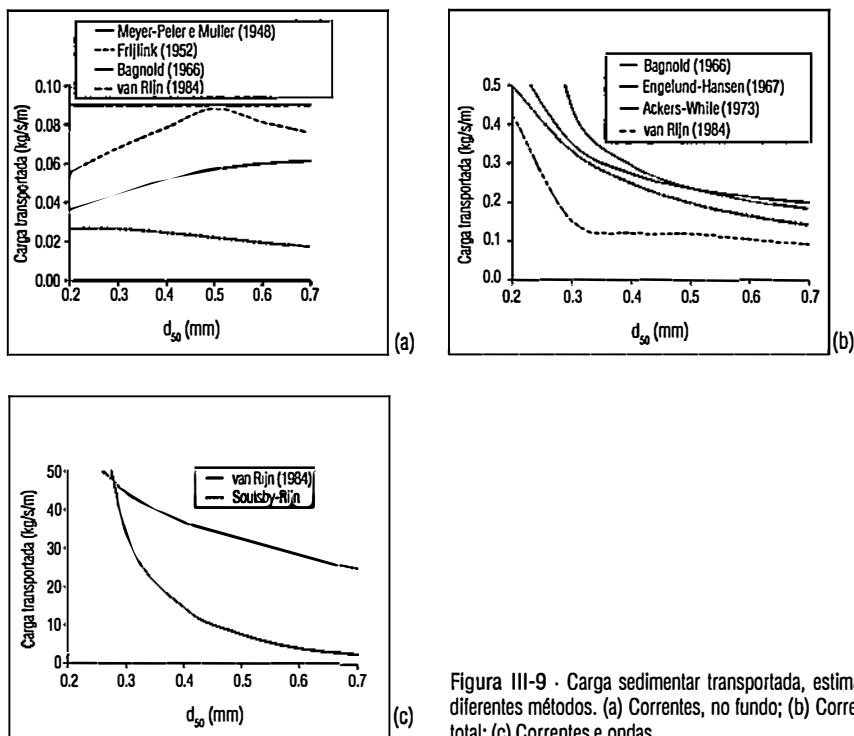


Figura III-9 · Carga sedimentar transportada, estimada por diferentes métodos. (a) Correntes, no fundo; (b) Correntes no total; (c) Correntes e ondas.

Numa fase inicial, compararam-se os métodos correspondentes ao transporte de sedimentos junto ao fundo, por acção das correntes (Figura III-9a), com uma velocidade de corrente de 1.0m/s. Os métodos relativos ao transporte junto ao fundo, originado pelas correntes, são os mais antigos e têm por base a teoria de transporte sedimentar em rios. Resultam quatro variações distintas para a carga

transportada em função da granulometria. A solução de Bagnold (1966) é independente da dimensão dos sedimentos, enquanto os outros métodos obtêm cargas crescentes e/ou decrescentes com o acréscimo da dimensão média das areias.

No gráfico da Figura III-9b) são apresentados os resultados do total transportado por acção das correntes (no fundo e em suspensão). Assim, à parcela de carga transportada junto ao fundo é adicionada uma parcela de carga transportada em suspensão. Os resultados obtidos traduzem um acréscimo significativo da carga transportada. O peso da parcela de carga junto ao fundo, no total transportado, aumenta com a dimensão das areias. No método de Bagnold (1966), para d_{50} igual a 0.2mm, a carga junto ao fundo representa apenas 15.7% da carga total, enquanto para d_{50} igual a 0.7mm esse valor sobe para 45.0%. No método de van Rijn (1984) essa relação varia entre os 13.1% e os 82.0%. Em todos os quatro métodos expostos a carga transportada diminui com o aumento da dimensão dos grãos.

Para a acção conjunta de ondas e correntes aplicaram-se os dois métodos expostos. As ondas foram consideradas com um período de 10s e altura significativa de 6m, a descrever um ângulo de 90º com a direcção das correntes. A velocidade de corrente considerada foi de 1.0m/s. Como se verifica por visualização gráfica da Figura III-9c), a solução proposta por Soulsby-Rijn é menos dependente da dimensão granulométrica das areias do que o método proposto por van Rijn em 1984. Para o método de van Rijn constata-se que a percentagem de carga transportada por acção das correntes é diminuta em comparação com a parcela relativa à acção das ondas (inferior a 5%). A acção das ondas com elevada altura significativa é fundamental na quantidade de sedimentos que é transportada.

A adopção de outros valores de rugosidades relativas, de níveis de referência, de velocidades de queda, ou de outras grandezas, não altera as diferenças relativas entre os diversos métodos e nem a dependência da dimensão média das areias.

1.4. Avaliação do Potencial de Transporte Sólido Longitudinal

Métodos de previsão para computação integral da largura de transporte sedimentar longitudinal, baseados na componente longitudinal do fluxo de energia da onda na linha de rebentação foram propostos pela CERC (*Coastal Engineering Research Center*) e por Kamphuis (1991) e Kamphuis *et al.* (1986). A avaliação do potencial de transporte de sedimentos relaciona o volume de sedimentos com poucos parâmetros de ondas e da praia. A calibração de dados fica assim mais simples de conseguir, mas as respostas são menos sofisticadas.

1.4.1. Fórmula CERC

A primeira fórmula para prever o transporte longitudinal de sedimentos surgiu, em 1938, por Munch-

-Peterson, um engenheiro Dinamarquês. Nos EUA, a *Scripps Institute of Oceanography* sugeriu, em 1947, uma fórmula também relacionada com a energia das ondas. A fórmula CERC foi adoptada em 1966 pelo *US Army Corps of Engineers*, no *Coastal Design Manual*. Os *Shore Protection Manual* de 1977 e de 1984 foram actualizando a fórmula CERC (Rosati *et al.*, 2002). A versão mais actual destes manuais é o *Coastal Engineering Manual* (CEM). Assim, esta é uma das formas mais antigas, mas apesar disso, ainda um dos métodos de maior sucesso na determinação do potencial de transporte sedimentar longitudinal. No início do século XX ficou aceite na generalidade que o transporte sedimentar longitudinal é devido essencialmente à altura e direcção das ondas (Fredsøe e Deigaard, 1992). A aplicação da fórmula CERC (Equação III-16) fica limitada quando o efeito das correntes se torna significativo.

A fórmula assume que a rebentação das ondas se dá em águas pouco profundas e relaciona, de uma forma empírica, o potencial de transporte e o fluxo de energia da onda na rebentação. O volume de transporte de sedimentos é geralmente expresso em m³/dia ou m³/ano, incluindo o volume de vazios entre as partículas (cerca de 40%) e o volume de grãos sólidos. A fórmula CERC é baseada em medições de campo e admite-se que a margem de aplicação esteja entre os 30% e os 50%. Há vários parâmetros que influenciam o potencial de transporte sedimentar, mas que estão excluídos da expressão, tais como o tipo de rebentação das ondas e a dimensão dos sedimentos (Wang *et al.*, 2002).

O método do fluxo de energia traduz uma forma de avaliação do potencial de transporte sólido longitudinal existente em determinada secção da costa. Rosati *et al.* (2002) apresentam uma descrição da fórmula CERC cujo uso está mais generalizado.

$$Q_l = k \left(\frac{\rho \sqrt{g}}{16k_b^{\frac{1}{2}}(\rho_s - \rho)(1 - n)} \right) H_b^{\frac{5}{2}} \sin(2\alpha_b) \quad (\text{III-16})$$

Esta expressão é homogénea em termos de unidades e permite o cálculo do potencial de transporte sólido longitudinal, sendo o resultado uma relação do volume de sedimentos que atravessa uma secção transversal à costa em determinada unidade de tempo.

As grandezas intervenientes nesta equação são a massa volúmica da água (ρ), a massa volúmica do material do fundo (ρ_s), a porosidade dos sedimentos (n) e o índice de rebentação (k_b), que expressa a relação entre a altura de onda na rebentação e a respectiva profundidade (é usual admitir a relação de 0.78). k é um coeficiente de proporcionalidade empírico e adimensional que serve para calibrar os resultados. Este parâmetro é proposto por diferentes autores, tomando diferentes valores, sendo o mais referido o valor de 0.39, quando se está a lidar com alturas significativas da onda.

A definição do ângulo entre a crista da onda na rebentação e a linha de costa (α_b) depende do que se entende por linha de costa. A variação do nível de maré implica a consideração de uma cota, em princípio correspondente com o nível médio das águas do mar. A linha de costa regista variações de direcção ao longo da sua extensão. Podem considerar-se a aproximação de uma linha média em determinada extensão de costa, ou a divisão por trechos, ou ainda a consideração da direcção para a qual convergem as ondas na rebentação, mas estas considerações conduzem a diferenças significativas nos resultados.

1.4.2. Kamphuis

Baseado em dados de campo e de laboratório, Kamphuis *et al.* (1986) apresentaram uma expressão empírica que inclui a inclinação da praia (m) e a dimensão dos sedimentos. A equação é:

$$Q_t = 1.28 \frac{H_b^{3.5} m}{d_{50}} \sin(2\alpha_b) \quad (\text{III-17})$$

A equação não é homogénea nas unidades e o coeficiente de 1.28 é válido para alturas de onda e dimensão dos sedimentos em metros, sendo o resultado expresso em kg/s (Wang *et al.*, 2002). Baseado em séries de estudos laboratoriais e reavaliação dos dados de campo, Kamphuis (1991) modifica a fórmula anterior, adicionando a influência do perfodo de pico das ondas (T_p).

$$Q_t = 6.4 \times 10^4 H_b^2 T_p^{1.5} m^{0.75} d_{50}^{-0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b) \quad (\text{III-18})$$

Nesta nova equação, a influência da dimensão dos sedimentos e da altura das ondas é reduzida de uma forma significativa. A influência da inclinação dos fundos e do ângulo de incidência das ondas é também reduzida. Ainda segundo Wang *et al.* (2002), a expressão III-18 prediz valores de potencial de transporte sedimentar mais baixos que a fórmula CERC. Para ondas com altura de rebentação inferior a um metro, os valores típicos de resultados da expressão de Kamphuis (1991) são 1.5 a 3.5 vezes inferiores aos da fórmula CERC e aos da Equação III-17. Na Equação III-19, a fórmula de Kamphuis resulta em valores expressos em m^3/hora , se a altura de onda na rebentação for expressa em metros, o perfodo de onda em segundos e a dimensão dos sedimentos em milímetros.

$$Q_t = 7.3 H_b^4 T_p^{1.5} m^{0.75} d_{50}^{-0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b) \quad (\text{III-19})$$

1.4.3. Distribuição Transversal do Transporte Sólido Longitudinal

Em geral, os estudos de campo e em laboratório indicam que níveis significativos do transporte longitudinal ocorrem na proximidade da linha de costa e que cerca de 10% a 30% do transporte total ocorre para lá da linha de rebentação (no sentido do mar). No entanto, as medições demonstram grande variabilidade na forma de distribuição transversal do transporte longitudinal (Rosati *et al.*, 2002).

Diversas formulações teóricas da distribuição transversal do transporte sedimentar longitudinal foram postuladas, mas sem reproduzirem bem o resultado de medições de campo. Alguns autores propuseram uma relação em que os sedimentos que se movimentam são proporcionais à razão local de energia de onda dissipada por unidade de volume, conseguindo uma previsão razoável em comparação com um caso medido (Rosati *et al.*, 2002). A dificuldade de conduzir trabalhos de campo para medição da distribuição transversal do transporte sólido longitudinal (Figura III-10) tem sido um obstáculo à determinação de quaisquer resultados.

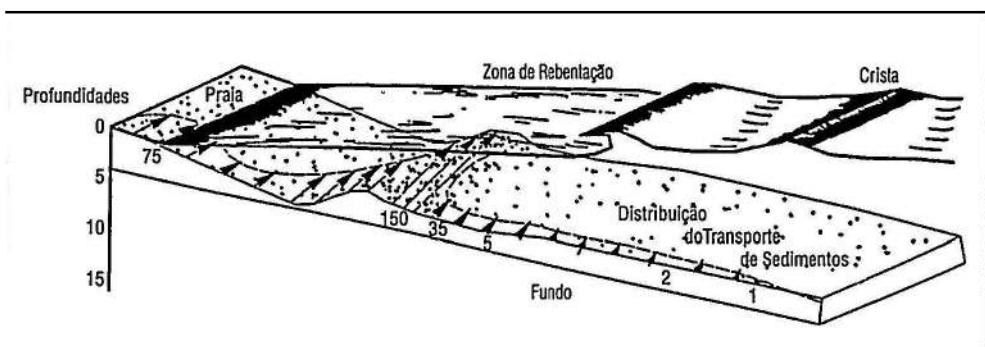


Figura III-10 · Esquema da distribuição transversal do transporte longitudinal de sedimentos (retirado de IHRH, 1992).

O programa de cálculo da evolução da linha de costa, GENESIS, faz uso da fórmula CERC. A distribuição transversal de transporte longitudinal nesse modelo é admitida uniforme até à zona de rebentação. No entanto, diversos estudos têm sugerido que essa distribuição não é uniforme, sendo um fenômeno ainda mal compreendido (Wang *et al.*, 2002).

A distribuição transversal do transporte sedimentar longitudinal é muito diferente para situações de diferente tipo de rebentação da ondulação. Assim, a zona junto à praia é sempre uma região de transporte significativo, mas no caso de ondas mergulhantes existe um pico de concentração da distribuição transversal na zona da rebentação das ondas. Este pico não sucede no caso das ondas do tipo progressivas. A distribuição transversal no caso das ondas progressivas é aproximadamente

linear, aumentando na direcção da linha de costa (Wang *et al.*, 2002). Os picos observados na distribuição transversal são muito reduzidos quando a agitação em análise é aleatória. Interessa comparar os resultados de laboratório com ondas regulares e resultados reais (Fredsøe e Deigaard, 1992).

1.5. Conclusões

A quantificação do fenómeno de transporte sólido longitudinal envolve uma grande diversidade de parâmetros e processos físicos. Estes estão ainda longe de ser bem traduzidos matematicamente, pelo que se verificam grandes incertezas quanto aos resultados que se obtêm. A evolução dos meios computacionais e o trabalho de investigação quanto a estes modelos poderá conduzir ao aumento da fiabilidade dos resultados (principalmente de laboratório). Mas o grau de incerteza das acções e a variação espacial e temporal dos parâmetros na natureza não permitirão resultados com o grau de exigência corrente nos projectos de engenharia. As projecções a realizar terão que garantir um coeficiente de segurança muito elevado.

Para a aplicação dos modelos apresentados não foram usados dados de agitação representativos de estados reais de agitação, mas sim situações pontuais hipotéticas que permitem essencialmente ter a percepção dos principais mecanismos do processo de transporte longitudinal. Realçam-se as grandes diferenças de valores obtidos nos diversos métodos, bem como a dificuldade de quantificar algumas das grandezas intervenientes nos cálculos.

Os resultados dos diferentes modelos nem sempre são semelhantes em comportamento; como se constatou, por exemplo, para cargas transportadas junto ao fundo por acção de correntes, não há consistência com a variação da dimensão das areias.

A percepção do nível de conhecimento e das incertezas associadas à avaliação do transporte sedimentar em situações reais (com muitos dos parâmetros a variarem no tempo e espaço, ou a serem de difícil quantificação) levou à adopção de uma metodologia dependente de um menor número de parâmetros. Nessa análise, o transporte sedimentar é avaliado numa perspectiva integral de volumes sólidos em circulação em toda a largura, incluindo todas as componentes de transporte (ondas e correntes, no fundo e em suspensão).

Luis Menezes Pinheiro
Francisco C. Teixeira
Daniela S. Gonçalves
Leonardo Azevedo
Tiago Ribeiro

Departamento de Geociências e CESAM, Universidade de Aveiro

2. Métodos Geofísicos na Planificação e Monitorização de Operações de Dragagens e na Prospecção de Agregados na Plataforma Continental

2.1. Introdução

A realização de operações de dragagem em áreas portuárias é uma necessidade recorrente, em particular para a manutenção da profundidade ou para o aprofundamento dos canais de navegação, permitindo remover os efeitos de assoreamento devidos à acumulação de sedimentos ao longo do tempo. É igualmente comum a execução de dragagens no *offshore* para a alimentação artificial de praias e para a extração de agregados para a construção (ver, por exemplo, Capítulo V-3, Teixeira, 1999; Cooper *et al.*, 2007; Kubicki *et al.*, 2007). Neste tipo de operações, uma avaliação prévia do tipo e espessura de sedimentos, assim como a identificação das formações e estruturas geológicas de fundo e subjacentes, são fundamentais para uma correcta planificação destas operações. Estes estudos prévios, utilizando métodos geofísicos, permitem racionalizar e reduzir os custos associados à execução de sondagens, seleccionar as técnicas de dragagem mais adequadas ao tipo de material a dragar e prever eventuais problemas a encontrar durante estas operações. Em termos de estudos de impactos ambientais, estes métodos permitem ainda caracterizar e cartografar os habitats de fundo, o que é fundamental para identificar e minimizar os riscos ambientais associados a este tipo de intervenções (ver, por exemplo, Le Bas e Huvenne, 2009).

A exploração de areias e cascalhos na plataforma continental, em profundidades de água geralmente inferiores aos 50-80m, tem vindo a assumir um papel cada vez mais importante na exploração destes recursos, a nível europeu e internacional, em particular devido aos riscos e impactos ambientais muito mais significativos associados com a sua tradicional exploração em praias, rios ou barras. Este tipo de exploração já está em curso em vários países europeus desde longa data, à semelhança do que

acontece a nível internacional, em particular nos Estados Unidos e Japão, e lança novos desafios em termos de desenvolvimento de técnicas de prospecção de alta resolução que permitam uma correcta avaliação de áreas de acumulação destes recursos com potencial interesse económico.

Frequentemente, a caracterização do tipo de sedimentos de fundo e de sub-superfície baseia-se essencialmente na realização de campanhas de amostragem utilizando colhedores de sedimentos ou recorrendo a técnicas de sondagem/carotagem (vulgamente por gravidade ou por pistão). Apesar de a amostragem directa ser a única maneira de se ter a certeza absoluta do tipo de sedimentos a dragar e de os poder caracterizar do ponto de vista granulométrico e mineralógico, deve ter-se em conta que se trata de um método muito dispendioso, ao qual acresce o facto de a amostragem ser apenas pontual, não sendo, de uma forma geral, directa a sua extração espacial, mesmo recorrendo a técnicas geoestatísticas avançadas. Em numerosas situações, é comum encontrar áreas com grande heterogeneidade geológica espacial a curta distância, muitas vezes da ordem de poucas dezenas de metros, em particular em áreas portuárias, que frequentemente se encontram em zonas de padrões sedimentares complexos associados à foz de rios (ver, por exemplo, Figuras III-27 e III-28). Nesses casos, se as sondagens forem implantadas sem qualquer controle prévio das formações subjacentes, a sua representatividade pode ser muito baixa e a extração lateral inválida. A observação numa sondagem da existência de uma espessura local razoável de sedimentos, associada, por exemplo, a um canal antigo, pode diminuir drasticamente a distâncias de poucas dezenas de metros quando esse canal contacta com as formações encaixantes. Este efeito é muitas vezes ainda mais problemático devido às migrações passadas dos canais, que geram sistemas com elevada variação e complexidade espacial.

Por estas razões, é fundamental recorrer a métodos geofísicos indirectos com ampla cobertura da zona a estudar, que permitem identificar, antes de efectuar a sua amostragem por carotagem (*ground-truthing*), as espessuras e distribuições espaciais das várias unidades sedimentares e as zonas de ocorrência de formações ígneas, metamórficas ou de rochas sedimentares compactas que possam provocar problemas nas operações de dragagem. Após a definição da distribuição espacial das áreas de ocorrência das várias unidades sedimentares e das zonas onde existe presença de soco, pode-se então melhor planificar e posicionar as sondagens para calibração dos dados geofísicos, nas áreas que podem efectivamente dar uma informação representativa de cada formação distinta a investigar e caracterizar. Com esta aproximação é possível diminuir muito significativamente o número de sondagens a realizar, diminuindo drasticamente os custos envolvidos. Torna-se também muito mais fiável a extração lateral dos dados das sondagens, uma vez que os métodos geofísicos permitem seguir lateralmente e em profundidade as unidades caracterizadas pelas sondagens.

Os métodos geofísicos geralmente utilizados neste tipo de aplicações são essencialmente a reflexão

sísmica de alta resolução e o sonar de varrimento lateral, de preferência adquiridos simultaneamente e conjugados sempre que possível com batimetria multifeixe de alta resolução. Os métodos de sonar de varrimento lateral fornecem uma “fotografia acústica” do fundo, permitindo identificar e cartografar variações laterais do tipo de sedimentos e formas de fundo, áreas de afloramento de materiais rochosos ou de ocorrência de blocos soltos (ver, por exemplo, Figura III-29), e detectar a eventual presença de vestígios arqueológicos ou instalações submarinas (por exemplo tubagens e emissários). Os métodos de reflexão sísmica de alta resolução, por outro lado, permitem determinar a espessura das diferentes camadas identificadas à superfície e seguir a sua continuidade espacial em profundidade, permitindo prever variações laterais e verticais no tipo de material a dragar em profundidade.

Neste trabalho apresenta-se um breve resumo das técnicas principais utilizadas para a planificação e monitorização de operações de dragagem em áreas portuárias e para a prospecção de areias e cascalhos na plataforma continental, em particular a sísmica de alta resolução e o sonar de varrimento lateral, e descrevem-se os tipos de equipamentos mais utilizados e o seu princípio de funcionamento. Discutem-se ainda as vantagens da aquisição deste tipo de dados utilizando Veículos Autónomos Submarinos (AUV's - *Autonomous Underwater Vehicles*), o que se poderá revelar altamente vantajoso e promissor num futuro próximo, e apresentam-se alguns exemplos da aplicação destes métodos a casos de estudo em áreas portuárias. No Capítulo V.1 deste volume, Quartau *et al.* apresentam um caso de aplicação destes métodos à prospecção de areias e cascalhos na plataforma da Ilha do Faial, nos Açores.

2.2. Métodos Geofísicos para a Caracterização de Sedimentos a Dragar e Prospecção de Areias e Cascalhos

Tal como descrito na Introdução deste trabalho (Secção III-2.1), os métodos geofísicos mais utilizados para a caracterização de sedimentos em áreas a dragar e para a prospecção de areias e cascalhos na plataforma continental, a profundidades de água de algumas dezenas de metros, geralmente inferiores a 100m, são a reflexão sísmica de muito alta resolução, conjugada, de preferência, com sonar de varrimento lateral e batimetria multifeixe. Em todos estes levantamentos geofísicos é fundamental dispor de um posicionamento geográfico de alta precisão, de preferência com GPS Diferencial com correcções RTK (*Real Time kinematics*) e, se possível, de uma batimetria multifeixe nas áreas com interesse do ponto de vista de exploração, antes e após as intervenções a realizar. Esses dados permitirão separar os efeitos da topografia na intensidade do sinal de retrodispersão registado nos dados de sonar de varrimento lateral (ver Secção III-2.2.2), efectuar o acompanhamento das modificações ao longo do tempo das áreas dragadas ou a dragar, modelar a evolução das alterações antes e após a extração dos

dragados, e determinar os tempos de recuperação das escavações.

2.2.1. O Método da Reflexão Sísmica de Alta Resolução

As secções de reflexão sísmica permitem obter uma imagem detalhada da geologia de sub-superfície, tanto em terra como em meio aquático, identificar as diferentes formações geológicas subjacentes, determinar a sua geometria, continuidade e distribuição espacial, caracterizar os padrões de deformação e fracturação que as afectam, e mesmo identificar acumulações de gás, quando presentes (ver por exemplo a Figura III-27a). Em meio aquático, utiliza-se uma fonte capaz de gerar um sinal sísmico (acústico), isto é, uma onda de pressão, com energia suficiente para se propagar na camada de água e penetrar nas formações geológicas abaixo do fundo. Após penetrar no subsolo, ao encontrar uma interface entre 2 meios com velocidades de propagação das ondas símicas e densidades diferentes, uma parte dessa energia é refractada e transmitida em profundidade, e a outra parte é reflectida, de acordo com a *Lei de Snell* (Figura III-11 e Equação III-20).

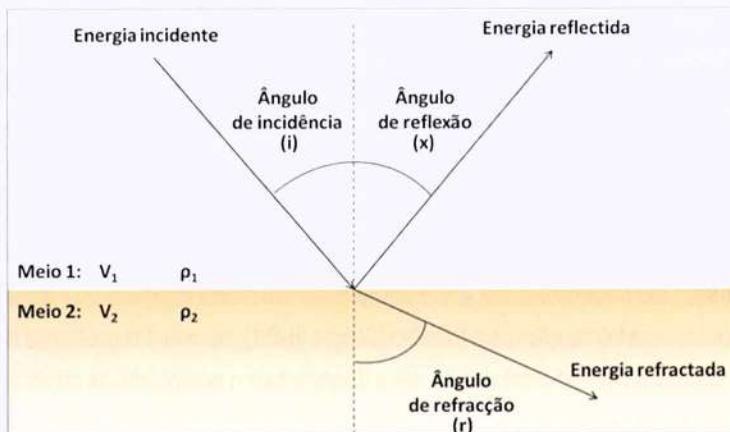


Figura III-11 - Reflexão e refracção das ondas acústicas numa interface entre 2 meios com propriedades elásticas distintas. V e ρ , representam a velocidade da propagação das ondas símicas e a densidade das diferentes camadas, respectivamente.

Para distâncias maiores, quando o ângulo de incidência atinge um valor crítico (ângulo de reflexão total), apenas temos reflexões e propagação de ondas ao longo da interface (na realidade este fenómeno é mais complexo, ver por exemplo Sheriff e Geldart, 1995), as quais, pelo *Princípio de Huygens*, retornam à superfície como ondas refratadas. No caso dos sistemas sísmicos de alta resolução, dada a curta distância entre as fontes e os receptores (vulgarmente inferior a algumas dezenas ou poucas

centenas de metros) não se recebe geralmente a energia refractada, que só aparece para maiores distâncias entre a fonte e os receptores (*offset*), pelo que se utilizam essencialmente as reflexões das ondas sísmicas.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2} \quad (\text{III-20})$$

A partição entre a energia transmitida em profundidade (refractada) e reflectida depende do ângulo de incidência (ver, por exemplo, Sheriff e Geldart, 1995). Contudo, para os sistemas de sísmica de alta resolução, em que frequentemente a fonte e o receptor são coincidentes ou estão separados por uma distância muito pequena face à profundidade de investigação, pode assumir-se que se trata de incidência normal. Neste caso, o *Coeficiente de Reflexão (CR)*, que determina a partição entre a intensidade do sinal transmitido e a do sinal reflectido, pode ser calculado pela Equação III-21, sendo proporcional ao contraste de *Impedâncias Acústicas (Z)* entre os 2 meios separados pela interface na qual se dá a reflexão. A *Impedância Acústica* corresponde neste caso ao produto da velocidade (*V*) de propagação das ondas sísmicas num determinado meio, pela densidade (*ρ*) desse meio.

$$CR = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (\text{III-21})$$

As secções sísmicas são vulgarmente apresentadas, não em função da profundidade, mas sim em "tempo de ida e volta" ou TWT¹ (Figura III-12). A razão porque os geofísicos preferem geralmente apresentar as secções em TWT em vez de profundidade deve-se ao facto de o TWT ser um valor exacto, uma vez que corresponde ao tempo de percurso real das ondas reflectidas (Figura III-12). Para as secções poderem ser correctamente apresentadas em profundidade, é necessário conhecer com precisão as velocidades de propagação das ondas sísmicas nas várias camadas, o que só é possível, e com alguma incerteza, através da realização de sondagens e diagrafias, ou utilizando sistemas reflexão sísmica multicanal com *streamers*² relativamente longos (este tipo de sísmica não é contudo vulgarmente utilizado para a prospecção de areias e cascalhos, dado o seu elevado custo e complexidade de operação a pequenas profundidades e em áreas de pequena dimensão). No caso da sísmica mono-

¹Do inglês "Two-Way Time", traduzido como tempo de ida e volta, ou tempo duplo, correspondente ao tempo que a energia sísmica demora a propagar-se desde que é emitida pela fonte, até reflectir na interface entre duas camadas com contraste de impedância acústica e regressar à superfície, onde é captada por um receptor (hidrofone).

²Os *streamers* utilizados na sísmica de reflexão multicanal são essencialmente constituídos por um conjunto de cadeias de hidrofones (sensores piezoelectrónicos) que registam os sinais sísmicos.

canal de alta resolução, a conversão em profundidade das secções sísmicas (Figura III-12) pode ser efectuada através da calibração das secções sísmicas, utilizando velocidades para as várias camadas sedimentares determinadas em amostras de sedimentos, assumindo valores típicos regionais, ou com base em registos de diagrafias acústicas, se disponíveis (para uma discussão mais completa sobre esta questão ver, por exemplo, Sheriff e Geldart, 1995; Yilmaz, 2001).

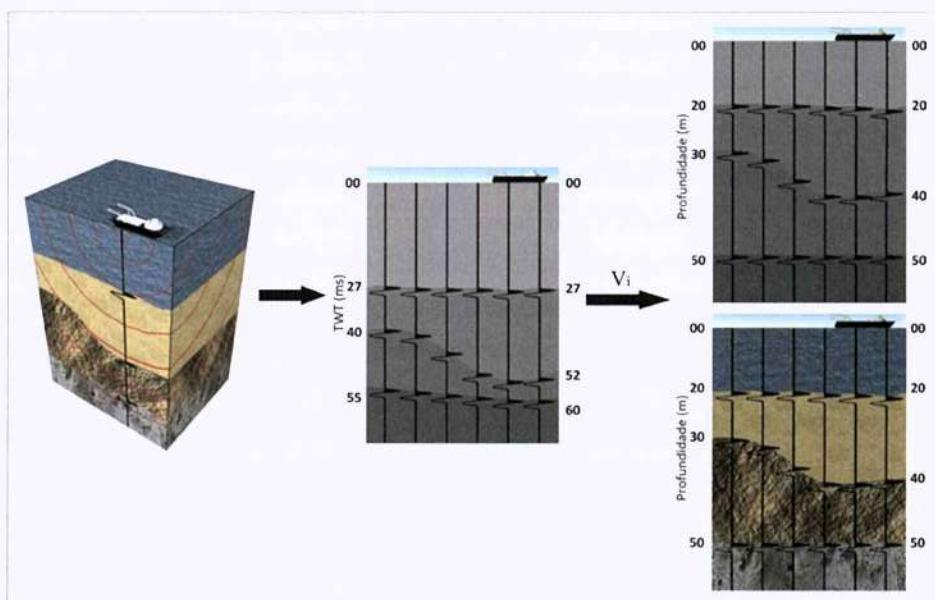


Figura III-12 - Esquema representativo da aquisição de secções de sismica de reflexão monocanal pelo método da reflexão. A embarcação, à medida que avança, reboca o sistema sísmico que emite ondas acústicas (à esquerda) e regista as ondas refletidas nas várias camadas. O registo sísmico (no centro) é obtido em tempo de ida e volta ou TWT (milisegundos), que pode ser convertido em profundidade (à direita) conhecendo ou arbitrando as velocidades de propagação das ondas sísmicas (V_i) nas várias camadas (esquema de O. Benazzouz).

Frequentemente, pode obter-se uma conversão aproximada das secções sísmicas em profundidade, estimando velocidades adequadas para as várias camadas, para o que se podem usar dados empíricos e consultar tabelas de valores padrão para os vários tipos de sedimentos (ver, por exemplo, Sheriff e Geldart, 1995). Os erros envolvidos na conversão em profundidades, neste tipo de dados, geralmente não ultrapassam os 10%. As camadas sedimentares mais superficiais, com sedimentos relativamente incoerentes apresentam vulgarmente velocidades da ordem dos 1600ms^{-1} , aumentando a sua velocidade com o grau de compactação. Às profundidades da ordem das investigadas com estes métodos, as velocidades de propagação das ondas sísmicas nos sedimentos raramente ultrapassam

os 1900 a 2200ms⁻¹. No caso de existirem camadas carbonatadas compactas ou mesmo soco ígneo ou metamórfico, as velocidades já podem atingir 3000-4000ms⁻¹ ou mesmo valores superiores. Na prática, para a conversão das secções de tempo duplo para profundidades, assumem-se valores considerados realistas para as velocidades de propagação das ondas nas várias camadas. Assume-se ainda frequentemente uma gama de incerteza associada a essas velocidades e estimam-se os erros prováveis associados à conversão em profundidade.

2.2.1.1. Resolução sísmica

Define-se resolução de um equipamento, ou técnica de visualização, como a capacidade de ser capaz de diferenciar dois objectos distintos próximos entre si (Figura III-13). Se o comprimento de onda (λ) utilizado for demasiado grande face às dimensões e distâncias entre si dos objectos a investigar, teremos um efeito de sub-amostragem espacial (*aliasing*) e os dois objectos não conseguirão ser resolvidos na imagem, aparecendo como apenas um único objecto.

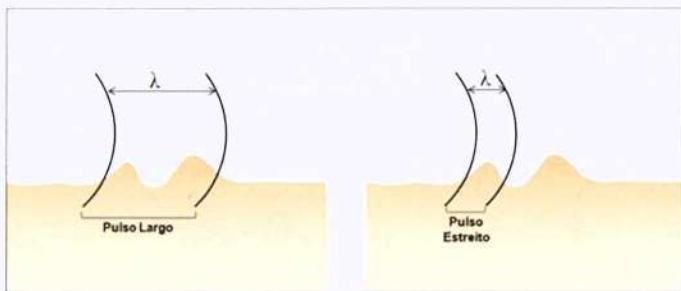


Figura III-13 - Esquema representativo do conceito de resolução espacial, evidenciando a relação entre o comprimento de onda (λ) dos pulsos acústicos e a sua capacidade para resolver objectos próximos distintos (adaptado de Riddy e Masson, 1996).

Nos métodos acústicos, tal como nos métodos electromagnéticos, existe um balanço entre as frequências utilizadas, a profundidade de investigação e a correspondente resolução vertical e horizontal associada a cada um destes métodos. Os sistemas de reflexão sísmica com frequência muito elevada permitem, para uma mesma potência, uma melhor resolução e detectar camadas com menor espessura, tendo contudo uma penetração mais limitada (geralmente da ordem de poucas dezenas de metros e tipicamente inferiores a 30m). Pelo contrário, os sistemas ainda de alta resolução, mas com menor frequência, para uma mesma potência, permitem uma profundidade de investigação bastante maior, da ordem de muitas dezenas ou poucas centenas de metros, se bem que com uma menor resolução vertical e horizontal. A solução ideal será poder combinar as potencialidades destes dois tipos

de sistemas. Alguns sistemas de sonares *Chirp* (ver Secção III-2.2.1.2; Figura III-19) actualmente disponíveis, tentam precisamente obter um balanço entre estes dois tipos de sistemas clássicos, utilizando uma fonte com um varrimento contínuo ao longo de uma gama alargada de frequências. Em resumo, sistemas com altas frequências (da ordem de alguns kHz) são os indicados para caracterizar, com grande detalhe, pequenas variações verticais do tipo de sedimentos e distinguir camadas com espessuras centimétricas, quando não é fundamental obter uma grande penetração. Quando se pretende uma investigação a profundidades superiores a 2-3 dezenas de metros, os sistemas com menor frequência (algumas centenas de Hz até poucos kHz), apesar de possuirem menor resolução, permitem maior penetração, sendo por isso mais indicados para caracterizar depósitos com espessuras maiores, nos quais a resolução vertical não é tão crítica.

Resolução vertical

A resolução vertical, nos métodos sísmicos de alta resolução mais convencionais (*Boomers*, *Sparkers* e Perfiladores 3.5-5kHz; ver Secção III-2.2.1.2.), depende da frequência dominante do sinal gerado pela fonte segundo a Equação III-22, onde V é a velocidade de propagação das ondas acústicas no meio, f é a frequência dominante do sinal-fonte (*wavelet* original) e λ é o comprimento de onda³. Define-se resolução vertical, como a espessura mínima que uma camada tem que ter para poder ser detectada por uma onda sísmica com uma determinada frequência e ser registada uma reflexão do seu topo e outra distinta da sua base; assume-se geralmente como a espessura correspondente a um quarto do comprimento de onda utilizado, $\lambda/4$ (ver, por exemplo, Sheriff, 1985).

$$V = \lambda f \quad (\text{III-22})$$

Assim, para uma frequência dominante de 2.5kHz e uma velocidade de propagação das ondas sísmicas no material de 2000ms^{-1} , o comprimento de onda λ vale 80cm, pelo que a resolução vertical será de 20cm. Neste caso, será possível obter reflexões distintas do topo e da base de todas as camadas com espessuras iguais ou superiores a este valor. No caso dos sistemas tipo sonar *Chirp*, dado que o sinal sísmico corresponde a um pulso em frequência modulada que varre uma determinada gama de frequências (por exemplo entre 5 e 12kHz), a resolução vertical depende essencialmente da largura de banda de frequências utilizadas: uma maior largura de banda permite uma maior resolução. A resolução vertical nestes sistemas atinge frequentemente os 10cm.

Resolução horizontal

A resolução horizontal, para perfis sísmicos (não migrados⁴), é determinada pela chamada 1^a Zona de

³Tempo ou distância ao fim dos quais a onda se repete. Por exemplo, entre dois picos ou dois mínimos de uma onda sinusoidal.

Fresnel (Figura III-14 e Equação III-23).

$$R = V/2\sqrt{(t/f)} \quad (\text{III-23})$$

Onde R representa o raio da zona de Fresnel, V a velocidade média de propagação das ondas sísmicas no material (em ms^{-1}), f a frequência do sinal sísmico (em Hz) e t o tempo de ida e volta correspondente à reflexão sísmica (TWT; em segundos).

Por exemplo, para uma reflexão correspondente a um TWT de 2s, utilizando um sistema com uma frequência de 20Hz, para uma velocidade de propagação das ondas sísmicas de 3000ms^{-1} , o raio da 1ª zona de Fresnel é cerca de 470m (Figura III-14). Esta é uma situação comum para perfis não migrados de reflexão sísmica multicanal muito profunda (vários km de penetração). No entanto, para sistemas de alta resolução como os utilizados em prospecção de areias e cascalhos, para uma frequência de 2kHz e um TWT de 100ms (cerca de 75m de profundidade), e uma velocidade de 1800ms^{-1} , o raio da 1ª Zona de Fresnel é de apenas cerca de 6m. Dado que as altas frequências são rapidamente absorvidas com a propagação das ondas sísmicas, a largura da zona de Fresnel aumenta com a profundidade na secção sísmica. Utilizando técnicas de processamento, em particular a chamada *Migração* dos perfis sísmicos, é possível melhorar esta resolução espacial e resolver este problema (ver, por exemplo, Sheriff, 1985; Sheriff e Geldart, 1995; Yilmaz, 2001).

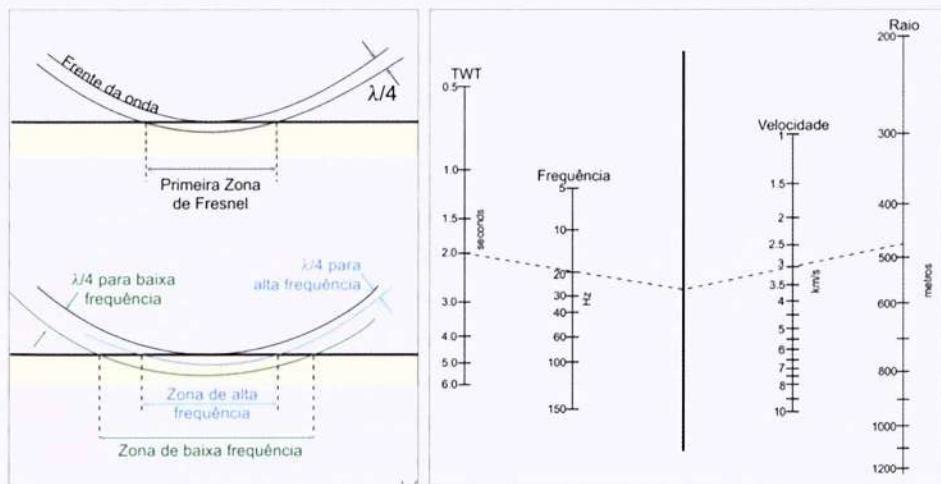


Figura III-14 - Conceito de resolução horizontal. (a) Definição da 1ª Zona de Fresnel; (b) Nomograma para determinação do raio da 1ª Zona de Fresnel (adaptado de Sheriff, 1985).

⁴ A migração é um dos passos do processamento dos dados sísmicos que permite corrigir a posição dos reflectores inclinados na secção final e colapsar a energia associada com difracções devidas a irregularidades ou descontinuidades nas interfaces.

2.2.1.2. Sistemas de sísmica de alta resolução mais utilizados

Os sistemas de sísmica de alta resolução de utilização mais comum em planificação e monitorização de dragagens e em prospecção de agregados na plataforma continental são os Perfiladores de fundo (*Pingers*), os *Boomers*, os *Sparkers* e os sonares *Chirp*. Descrevem-se de seguida os princípios básicos de funcionamento destes sistemas e o seu domínio de aplicação.

Perfiladores de fundo 3.5-5kHz (Pingers)

Estes sistemas perfiladores, por vezes designados *Pingers* (ver, por exemplo, Riddy e Masson, 1996) ou Sondadores 3.5kHz, estão, na maior parte dos casos, fixos aos cascos dos navios, sendo as frequências de operação mais comuns 3.5 e 5kHz. Permitem investigar as camadas sedimentares nas primeiras dezenas de metros abaixo do fundo, com uma resolução da ordem dos 20-70cm. Geralmente, estes sistemas não são muito usados para a prospecção de areias e cascalhos.

Boomers

Estes equipamentos são utilizados quando se pretende investigar a espessura das camadas sedimentares até uma profundidade da ordem de algumas dezenas de metros, com uma boa resolução. Dependendo da potência da fonte utilizada e do tipo de sedimentos, podem atingir profundidades da ordem dos 100m (cerca de 75ms TWT), com uma resolução da ordem de 40-100cm. Embora possam ter frequências que variam entre os 200Hz e os 8kHz, a frequência dominante situa-se no intervalo entre os 300Hz e os 3kHz. Consistem de: (1) um "peixe" rebocado a partir da embarcação, com transdutores constituídos por 2 placas metálicas que se repelem entre si quando carregadas electricamente; (2) uma fonte de alimentação para carregar um banco de condensadores; (3) um *streamer* de hidrofones (sensores piezoelectrónicos que funcionam como receptores, colocados dentro de um tubo cheio de querosene); (4) uma unidade de amplificação; (5) uma unidade de registo; e (6) eventualmente unidades de filtragem analógica/digital (Figura III-15).

Os hidrofones são sensíveis às variações de pressão associadas à chegada das ondas sísmicas à superfície, reflectidas no fundo e nas camadas subjacentes, e convertem estas variações de pressão em sinais eléctricos que são geralmente gravados digitalmente (ver, por exemplo, Sheriff e Geldart, 1995). Se bem que a resolução destes sistemas seja relativamente baixa quando comparada, por exemplo, com a que se obtém com sistemas do tipo *Chirp*, a penetração obtida com estes equipamentos é muito superior, pelo que, estes métodos, particularmente quando conjugados com perfis de *Chirp*, permitem caracterizar a continuidade em profundidade das unidades sedimentares superficiais. Os sistemas mais recentes utilizam fontes de potência de pequena dimensão, o que permite a sua utilização em embarcações de menores dimensões.

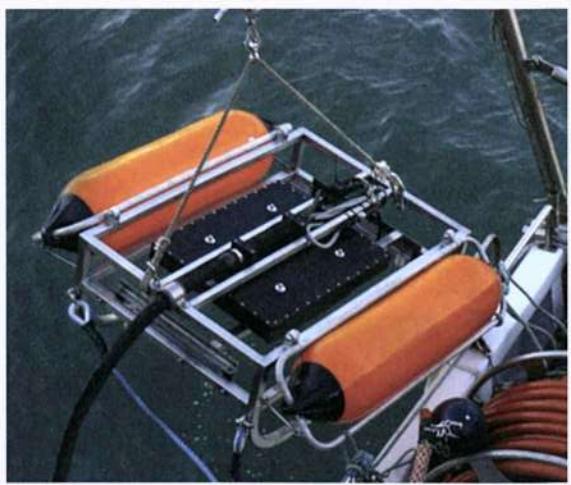


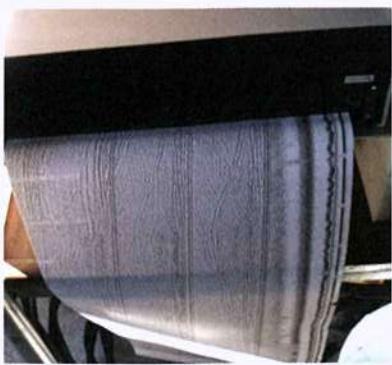
Figura III-15 - Sistema Boomer (*GeoResources*) utilizado durante a campanha ERSTA/SANDEX ao largo de Vale do Lobo, Algarve.

Sparkers

Os Sparkers (Figura III-16) utilizam um procedimento descoberto por Knott e Hersey (1956). Estes autores demonstraram que, quando se produz uma faísca entre 2 fiadas de eléctrodos submersos, provocada por uma descarga súbita de um banco de condensadores de alta potência, gera-se uma bolha de gás ionizado em expansão, com energia suficiente em frequências relativamente baixas para produzir energia sísmica capaz de penetrar algumas centenas de metros nas camadas sedimentares abaixo do fundo (cf. Jones, 1999).



(a)



(b)

Figura III-16 - Sistema Sparker (*GeoResources*). (a) Durante o cruzeiro TOPOMED, ao largo do Algarve, Portugal. Este sistema inclui vários conjuntos de eléctrodos responsáveis pela geração da energia acústica; (b) Registo de um sparker durante o cruzeiro ERSTA/SANDEX ao largo de Vale do Lobo, Algarve.

De uma forma geral, estes sistemas utilizam frequências da ordem dos 0.1-1kHz, o que lhes permite conseguir penetrações que podem atingir 100 a 200m de profundidade, com uma resolução da ordem dos 50-200cm. Como receptores, tal como os sistemas *Boomer*, utilizam uma cadeia de hidrofones (Figura III-17).



Figura III-17 · Sistemas *Sparker*. (a) Dois *streamers* de hidrofones utilizados como receptores dos sinais sísmicos; (b) Exemplo de configuração de reboque à ré de um sistema deste tipo: *calamaran* do *Sparker* a estibordo e dois *streamers* de hidrofones a bóm bordo.

Sonares Chirp

Os sonares *Chirp* são equipamentos de reflexão sísmica de alta resolução que tentam optimizar um balanço entre uma elevada resolução sísmica e uma penetração razoável. Para tal, utilizam como sinal sísmico um pulso de frequência modulada (um *Chirp*, Figura III-18), que, de uma forma geral, consiste numa banda de frequências entre os 0.5 e os 12 a 15kHz. A Figura III-18 mostra a comparação entre a onda fonte de um sonar *Chirp* e uma onda fonte de um sistema convencional. A Figura III-19 mostra exemplos de sistemas *Chirp*.

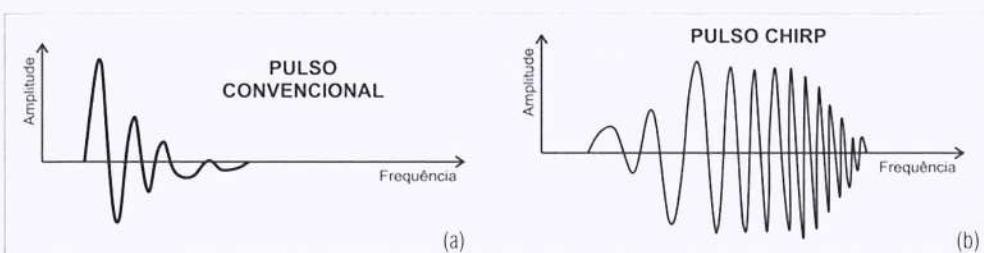


Figura III-18 · Comparação entre a onda fonte produzida por (a) um sistema sísmico convencional e (b) um sistema *Chirp* (adaptado de Shock e Leblanc, 1990).



Figura III-19 · Sistemas de sonares *Chirp*. (a) Sistema *Datasonics*, da Unidade de Geologia Marinha, LNEG; (b) Sistema *Edgetech 512i*, do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha do CESAM, Universidade de Aveiro.

Reflexão Sísmica 3D

Actualmente, começam já a ser comuns sistemas de reflexão sísmica de alta resolução 3D. Estes sistemas utilizam essencialmente o mesmo tipo de fontes ou pequenos canhões de ar e vários *streamers* ou sensores paralelos, em vez de apenas um, e permitem obter blocos sísmicos 3D com elevadíssima resolução. Apesar de ainda consideravelmente dispendiosos, estes sistemas possibilitam a caracterização prévia das áreas a dragar ou explorar com uma grande precisão. A tendência será para que estes sistemas 3D se venham a tornar o *standard* da aquisição sísmica, num futuro relativamente próximo.

2.2.2. Sonares de Varrimento Lateral

Os Sonares de Varrimento Lateral são baseados em sistemas construídos durante a 2^a Guerra Mundial para detecção de submarinos, sendo nesse caso os sonares utilizados inclinados em relação à verti-

cal. Mais tarde, nos anos 50, um grupo de cientistas britânicos concluiu que era possível utilizar esta técnica para estudos da plataforma continental, quer para a identificação de estruturas na topografia de fundo, quer no estudo da sua geologia e na detecção de objectos de origem antropogénica, tais como destroços de navios e cabos submarinos (ver, por exemplo, McQuillin e Arduis, 1977; Jones, 1999). Os sistemas de Sonar de Varrimento Lateral são constituídos pelo sonar propriamente dito ("peixe" ou "*tow-fish*"), que é rebocado por uma embarcação e ligado por um cabo a um dispositivo de gravação. Baseiam-se na emissão de um sinal acústico de alta frequência por dois transdutores, um de cada lado, submersos e inclinados em relação à vertical. Cada transdutor é constituído por um conjunto linear de elementos piezoeléctricos que emitem e recebem energia acústica dentro de um determinado intervalo de frequência que depende do tipo de sistema (Jones, 1999). Os transdutores enviam pulsos num feixe em forma de leque, com um ângulo horizontal (*along-track*) muito pequeno ($\theta \sim 1-2^\circ$) e um ângulo vertical (*across-track*) bastante largo ($\phi \sim 50-70^\circ$) (Figura III-20). Por cada pulso emitido, é obtido um varrimento acústico segundo uma linha perpendicular à direcção do movimento da embarcação (*across-track*). À medida que a embarcação avança, as sucessivas linhas correspondentes a cada pulso formam, por justaposição, uma imagem que representa a magnitude dos ecos (retrodispersão) em função da distância ao transdutor (Xu, 1998; Jones, 1999).

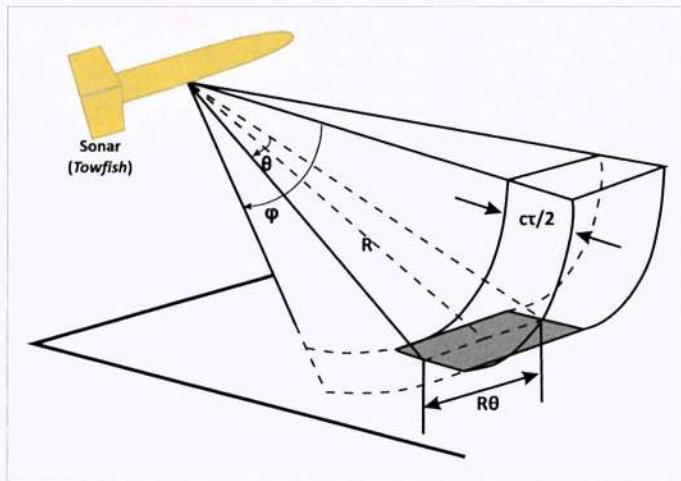


Figura III-20 - Representação esquemática da geometria do pulso de um Sonar de Varrimento Lateral convencional (adaptado de Xu, 1998).

A resolução dos sistemas de Sonar de Varrimento Lateral, ou seja, a sua capacidade de distinguir 2 ou mais objectos próximos, está relacionada com a área insonificada por cada pulso (*footprint*), sendo principalmente função da forma do feixe acústico e do comprimento do pulso. A área insonificada na direcção do movimento do navio (*along-track*), Δx (Equação III.24) é função do ângulo horizontal do

feixe θ (em radianos) e do alcance, R (Nishimura, 1997; Blondel, 2009).

$$\Delta x = R\theta \quad (\text{III.24})$$

Quanto maior o alcance (distância do sonar à zona de incidência do fecho), maior será Δx e, consequentemente, menor será a re-solução espacial *along-track*. De facto, com o aumento da distância ao sonar, a área de insonificação do feixe é maior, pelo que a distância entre 2 objectos que o sistema é capaz de distinguir aumenta (Figura III-21), diminuindo a resolução.

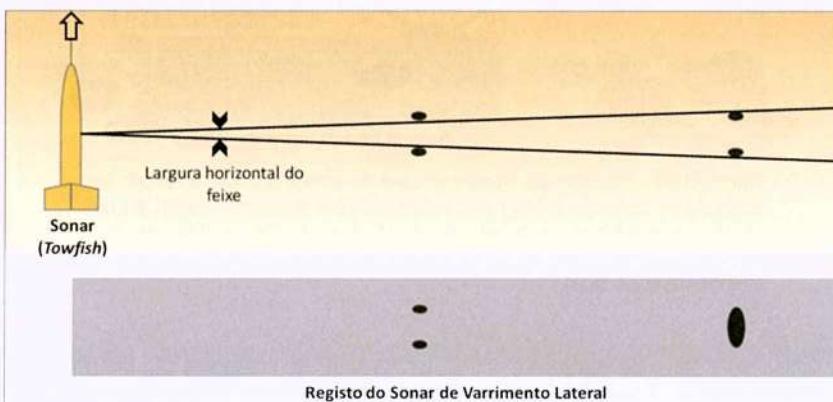


Figura III-21 - Resolução das imagens de sonar de varrimento lateral na direcção do movimento do navio (*along-track*), Δx . Observa-se, nesta imagem, que dois objectos distintos podem ser registados na imagem do sonar como um único objecto, se localizados a distâncias da fonte acústica suficientemente grandes, face à largura horizontal do feixe a essa distância (adaptado de Mazel, 1985).

A resolução na direcção perpendicular ao trajecto do navio (*across-track*), Δy (Equação III.25), é função do comprimento do pulso, τ , da velocidade do som na água, c , e do ângulo complementar ao ângulo de incidência⁵, β' (Nishimura, 1997; Quinn *et al.*, 2005; Blondel, 2009).

$$\Delta y = \frac{c\tau}{2} + \frac{1}{\cos \beta'} \quad (\text{III.25})$$

Quanto maior a distância *across-track* ao sonar, ou seja, quanto menor é o ângulo complementar ao ângulo de incidência, β' , maior será a resolução espacial, uma vez que Δy será menor. Pelo contrário, quanto mais próximo do nadir⁶, menor a resolução espacial (Figura III-22).

⁵Ângulo de incidência é o ângulo que a energia incidente faz com a perpendicular ao fundo.

⁶O nadir corresponde à zona no fundo marinho na vertical do sonar.

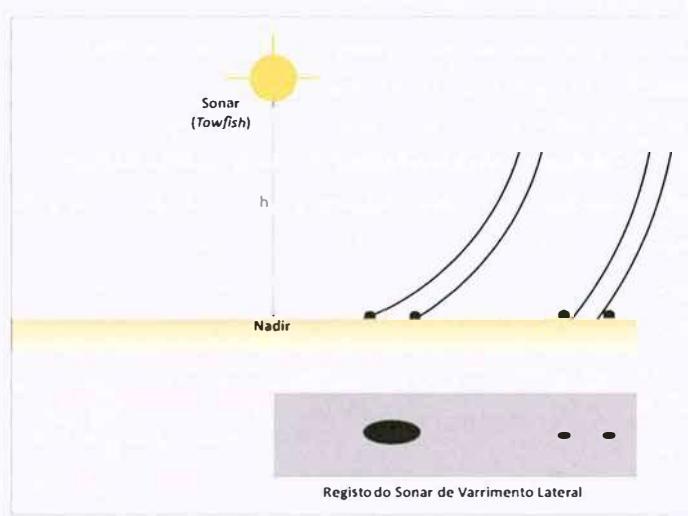


Figura III-22 Resolução das imagens de sonar de varrimento lateral na direcção perpendicular ao movimento do navio (*across-track*). Δy . Observa-se, nesta imagem, que dois objectos distintos podem ser gravados no registo do sonar como um único objecto, se próximos o suficiente da fonte acústica que permita que sejam englobados no mesmo feixe (adaptado de Mazel, 1985).

Nos sistemas de sonar de varrimento lateral, os transdutores emissores são também responsáveis pela recepção do sinal correspondente à retrodispersão (*backscatter*) do sinal no fundo (Figura III-23; Souza, 2006; Blondel, 2009). A retrodispersão está relacionada com a interacção entre a onda acústica e o fundo, e a sua intensidade é governada pelo coeficiente de retrodispersão, S_b (Equação III.26), que corresponde à razão entre a intensidade do som disperso por unidade de área do fundo, P_b , e a intensidade da onda incidente, I_i , numa determinada área insonificada, A (Jones, 1999).

$$S_b = \frac{P_b}{I_i A} \quad (\text{III.26})$$

O coeficiente de retrodispersão está relacionado com as propriedades dos materiais de fundo, tais como a rugosidade, a velocidade de propagação do som e a sua densidade. A rugosidade pode ser descrita, de um modo simplista, pelo parâmetro de *Rayleigh*, r (Equação III.27).

$$r = k H_{rms} \sin \beta \quad (\text{III.27})$$

onde k é número de onda ($2\pi/\text{comprimento de onda do sinal}$), H_{rms} é o valor médio quadrático da altura das formas de fundo e β corresponde ao ângulo de incidência. Para valores de r muito inferiores

a 1, a superfície é essencialmente lisa e toda a energia é reflectida. Para valores muito superiores a 1, a superfície provoca a dispersão omnidireccional da energia - retrodispersão (Figura III-23; Jones, 1999).

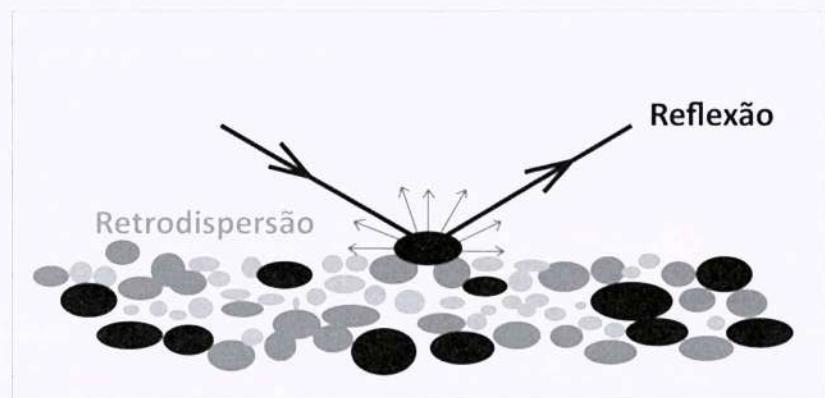


Figura III-23. Reflexão (seta a preto) e retrodispersão ou *backscatter* (setas a cinza) nos sedimentos do fundo, do sinal acústico emitido pelo sonar (adaptado de Mazel, 1985).

A retrodispersão é função, por ordem decrescente de importância, da geometria do sistema sensor-objecto (ângulo de incidência, ângulo de retorno da onda acústica e inclinação do fundo), das características físicas do fundo, tais como a rugosidade, densidade ou velocidade de propagação do som, e da natureza do fundo, em particular da sua composição e estrutura (Nishimura, 1997; Blondel, 2009). Superfícies homogéneas provocam baixa retrodispersão do sinal acústico, enquanto que, superfícies heterogéneas e rugosas propiciam um retorno do sinal de retrodispersão com maior energia (Souza, 2006). Na ausência de variações topográficas significativas, é geralmente assumido que, no caso de se tratarem de sedimentos inconsolidados, o tamanho do grão é o factor dominante na intensidade da retrodispersão. Sedimentos mais grosseiros estão associados a uma retrodispersão mais elevada que os sedimentos mais finos (Davis *et al.*, 1996; Goff *et al.*, 2000; Collier e Brown, 2005). As imagens de sonar de varrimento lateral representam assim a intensidade da retrodispersão do fundo, fornecendo indicações importantes sobre as características morfológicas e sedimentológicas dos sedimentos de fundo, em particular relativas ao relevo e à variação da distribuição superficial dos sedimentos (tipo, composição, textura e orientação de estruturas). Permitem ainda identificar eventuais objectos no fundo e visualizar formas de fundo associadas com as correntes predominantes na área de estudo (ver, por exemplo, Figura III-29; Neto, 2001; Blondel, 2009). No entanto, a interpretação das imagens de sonar de varrimento lateral requer experiência e, de preferência, algum conhecimento

da área em estudo, de modo a melhor interpretar as estruturas de fundo e identificar eventuais artefactos (Riddy e Masson, 1996). As zonas de sombra constituem uma ajuda na interpretação das imagens e correspondem a áreas onde não existe qualquer retorno de energia (Figura III-24). Estas áreas sem retorno de energia são provocadas, por exemplo, pela existência de blocos, pequenas elevações ou por destroços, que impedem a insonificação da área adjacente a estas estruturas. Estas sombras permitem estimar a altura das estruturas, usando o Teorema de Tales. A presença de depressões no fundo origina também zonas de sombra (Figura III-24).

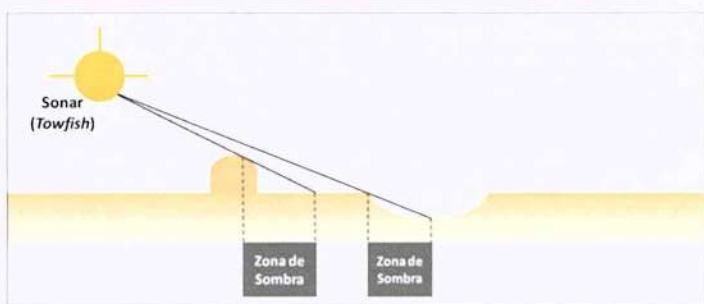


Figura III-24 Diagrama que ilustra a formação das zonas de sombra.

Antes de se proceder à interpretação das imagens de sonar de varrimento lateral, é necessário efectuar o seu processamento prévio, para corrigir as distorções que as afectam. Estas distorções podem ser de dois tipos: distorções geométricas e distorções radiométricas.

Distorções Geométricas

As distorções geométricas correspondem a diferenças entre a localização relativa de determinada estrutura na imagem de varrimento e a sua posição real no fundo. Estas distorções podem ser causadas por diferentes factores. Uma destas distorções está relacionada com a obliquidade das distâncias (*slant range*; Figura III-25). As distâncias entre estruturas perpendiculares ao trajecto da embarcação (*across-track*) são medidas com base no tempo de ida e volta do pulso, o que corresponde à distância oblíqua (*slant range*) e não à distância real horizontal no terreno (*ground range*). A título de exemplo (Figura III-25), se considerarmos duas estruturas que se encontram perto do nadir (D_1 e D_2), elas terão distâncias oblíquas (*slant range*) muito semelhantes (R_1 e R_2). No entanto, se as mesmas estruturas estiverem mais afastadas do nadir (D_3 e D_4), terão distâncias oblíquas associadas relativamente diferentes (R_3 e R_4), o que se traduz numa distância relativa aparente incorrecta entre as duas estruturas (na imagem de varrimento; Cobra *et al.*, 1992; Blondel, 2009).

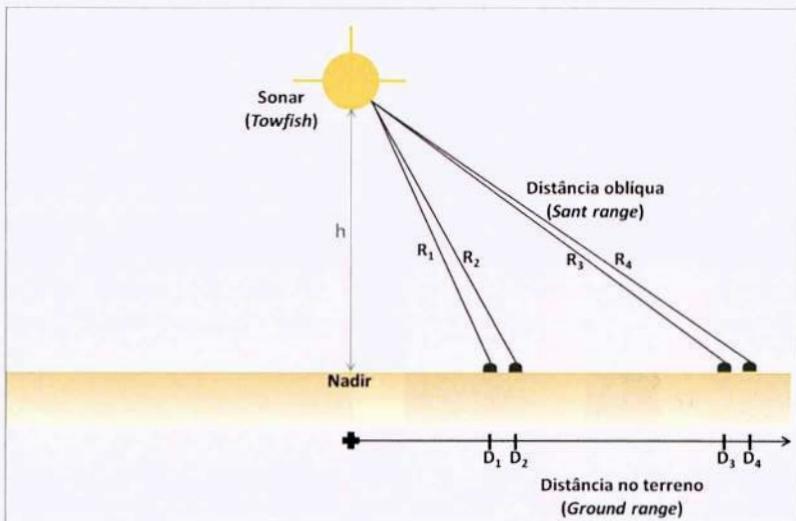


Figura III-25 - Distorção provocada pelo efeito das distâncias obliquas (*slant range*), ilustrada através da distância entre duas estruturas quando localizadas perto e afastadas do nadir (adaptado de Blondel, 2009).

A correcção desta distorção consiste no reposicionamento dos pixels da imagem de sonar de varrimento lateral, da sua posição aparente para a sua posição real (Equação III-28), considerando a distância real no terreno (D). Esta distância D , é determinada com base no tempo de ida e volta do pulso (T), na velocidade de propagação do som na água (c) e na altitude do sonar (h).

$$D_i = \sqrt{\left(\frac{cT_i}{2}\right)^2 - h^2} \quad (\text{III.28})$$

Um outro aspecto a considerar é o facto do intervalo de amostragem na direcção paralela à navegação (*along-track*) originar, geralmente, pixels com uma resolução espacial diferente da direcção perpendicular à navegação (*across-track*). Este fenómeno provoca, assim, distorções nas imagens de sonar de varrimento lateral. O espaçamento ao longo da direcção de navegação, e portanto a sua resolução *along-track*, é ditado pelo ângulo horizontal do feixe que insonifica o fundo (ver Figura III-20 e Figura III-21) e pela distância percorrida pelo transdutor entre recepções. A correcção desta distorção geométrica, denominada anamorfose, é importante e passa pela produção de uma imagem em que o tamanho do pixel é o mesmo nas duas direcções, paralela e perpendicular à navegação, garantindo assim, que as estruturas são representadas na imagem de Sonar de Varrimento Lateral com a proporção correcta (Chavez *et al.*, 2002; Blondel, 2009).

Para além dos aspectos mencionados anteriormente, os sistemas de Sonar de Varrimento Lateral

começam a gravar os dados assim que a onda acústica é emitida na coluna de água, o que gera um número de pixels em ambos os lados do nadir que correspondem à distância entre os transdutores e o fundo (Figura III-26). A remoção desta porção de imagem, após a integração da imagem de varrimento com dos dados de navegação, constitui um dos primeiros passos no fluxograma do processamento de dados de sonar de varrimento lateral (Chavez *et al.*, 2002).

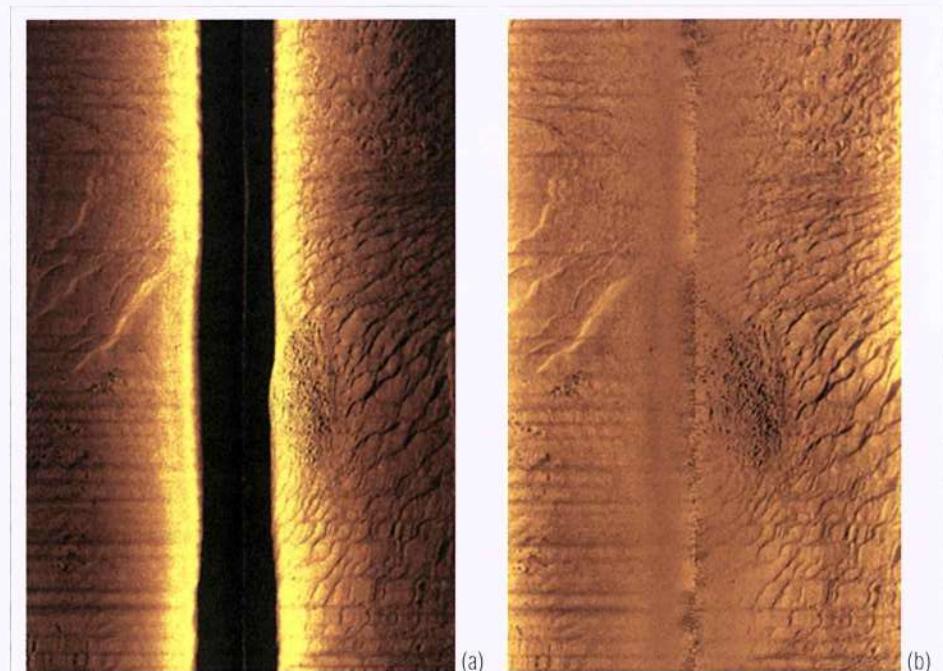


Figura III-26 · Linha de sonar de varrimento lateral adquirida num dos canais da Ria de Aveiro (Pinheiro *et al.*, *in prep.*). (a) Imagem sem processamento, (b) Após a remoção da porção correspondente à coluna de água abaixo do sonar e aplicação da correção radiométrica (*beam angle correction*) para compensar os efeitos da iluminação desigual devido à forma e ângulo de incidência do feixe.

Outra fonte de distorções geométricas está relacionada com as variações da velocidade do som na água, causadas por diferenças de temperatura, pressão e salinidade, que levam à refracção da onda. Estas distorções não são, no entanto, muito significativas em sonares de alta frequência (Cobra *et al.*, 1992).

Distorções Radiométricas

Enquanto as correcções das distorções geométricas envolvem mudanças na posição espacial de cada

pixel, as correcções das distorções radiométricas implicam a alteração do valor de amplitude do sinal de retorno (retrodispersão) atribuído a um determinado pixel (Chavez *et al.*, 2002).

As distorções radiométricas correspondem a desvios em relação ao comportamento linear ideal entre a intensidade da imagem obtida e a retrodispersão dos materiais de fundo. Uma vez que os dados de sonar de varrimento lateral correspondem à energia relativa à retrodispersão do fundo, então, a intensidade do sinal incidente e o ângulo de incidência relativamente ao fundo afectam a retrodispersão e, consequentemente, os dados. Assim, as imagens de sonar de varrimento lateral apresentam maiores amplitudes perto do nadir e uma resposta mais fraca nos extremos (Figura III-26), o que se deve à forma do feixe do sonar. De modo a compensar esta iluminação desigual é importante conhecer a distribuição da energia em função do ângulo de incidência, que pode ser determinada para um dado sistema estimando estatisticamente, para uma série de dados, o valor médio das amplitudes para cada ângulo. O resultado é um histograma que relaciona a retrodispersão com o ângulo da energia incidente. O inverso da energia média para cada ângulo de incidência pode, então, ser aplicado como factor de correcção para esta distorção (Figura III-26b; Chang *et al.*, 2010).

Outras distorções radiométricas que podem afectar os dados de sonar de varrimento lateral são os ruídos *speckle*, que correspondem a ecos pontuais de muito elevada intensidade. Estes artefactos, que não são representativos do fundo do mar, podem ser removidos por filtragem. Existem ainda outros tipos de ruídos, denominados *striping*, que correspondem a retornos de muito baixa amplitude ao longo de faixas perpendiculares à direcção do trajecto da embarcação e que são devidos quer a movimentos verticais do "peixe" (*pitch*), quer a inconsistências do sistema. A sua remoção é também possível com a aplicação de filtros.

Existem vários programas de processamento de dados de sonar de varrimento lateral que permitem aplicar todas as correcções, quer geométricas quer radiométricas, anteriormente descritas.

Na selecção do sistema de sonar de varrimento lateral mais adequado a usar devem ter-se em consideração factores como a cobertura desejada, a profundidade da área do levantamento e a resolução pretendida. Baixas frequências são caracterizadas por longos comprimentos de onda e pulsos acústicos também longos, o que permite um elevado alcance, embora limite a resolução. Pelo contrário, altas frequências permitem uma maior resolução, limitando o alcance (a Tabela III-1 mostra alguns exemplos de sistemas de sonar de varrimento lateral com diferentes resoluções).

Tabela III-1 · Selecção do tipo de sistema de sonar de varrimento lateral em função da resolução e do alcance pretendido.

Resolução	Frequência	Comprimento de onda	Alcance
Baixa	1kHz	1.5m	>100km
Baixa	10kHz	15cm	10km
Baixa	25kHz	6cm	3km
Média	50kHz	3cm	1km
Média	100kHz	1.5mm	600m
Alta	500kHz	3mm	150m
Alta	1MHz	1.5cm	50m

2.2.3. Exemplos de Aplicação de Métodos Geofísicos em Áreas Portuárias

Apresentam-se de seguida alguns exemplos de aplicação de métodos geofísicos em áreas portuárias usando dois dos sistemas descritos anteriormente: sonares *Chirp* e Sonares de Varrimento Lateral.

2.2.3.1. Exemplos de levantamentos com sonares *Chirp*

A Figura III-27 mostra alguns exemplos de perfis adquiridos com um sonar *Chirp* na área portuária da Ria de Aveiro (Pinheiro *et al.*, *in prep.*). Estes perfis demonstram bem a capacidade deste tipo de métodos geofísicos para a caracterização em profundidade dos sedimentos e formações litológicas nas áreas a dragar. Com base nesta informação prévia, é possível seleccionar criteriosamente os locais mais indicados para efectuar as sondagens de calibração, com grande economia dos custos envolvidos, e garantir que a informação das sondagens é representativa da variabilidade espacial da geologia de sub-superfície. São claramente identificáveis as áreas com grandes espessuras de sedimentos, as áreas onde se irão encontrar formações compactas aquando de operações de dragagem (neste caso, as margas da formação das “Argilas de Aveiro”), e as zonas onde se encontram acumulações de gás a pequena profundidade. Torna-se assim possível planear as operações de dragagem com um muito menor grau de incerteza e seleccionar as técnicas mais adequadas à realização destas operações.

O perfil representado na Figura III-27a, adquirido na vizinhança do Terminal Norte, mostra claramente uma camada de sedimentos superficiais progradantes para Este, com uma espessura de cerca de 2m, que formam ondas de areia à superfície, e a presença das camadas mais competentes das “Argilas de

Aveiro", compostas por margas e argilas compactas do Cretáceo, cuja profundidade do topo abaiixo da superfície (ZH) varia entre os cerca de 11m a Este e os 19-20m a Oeste, numa distância de apenas cerca de 480 metros. É igualmente visível a deformação destas camadas e algumas fracturas menores que as afectam. Na zona mais a oeste, observa-se ainda a presença e acumulação de gás a pequena profundidade, que absorve a energia sísmica, mascarando a presença das camadas mais profundas (visíveis apenas numa pequena "janela" acústica muito localizada, numa área onde não existe acumulação superficial de gás).

A Figura III-27b mostra um outro exemplo de um perfil adquirido na Cale de Vila (Pinheiro *et al.*, in prep.), onde é clara a grande variabilidade lateral de espessura dos sedimentos e da profundidade das margas das "Argilas de Aveiro". Aqui observa-se um corte transversal de um pequeno *graben* com uma direcção NNW-SSE (ver Duarte *et al.*, 2007). Este exemplo ilustra bem como seria difícil correlacionar lateralmente as camadas entre sondagens pontuais numa zona com estas características, a menos que a malha de sondagens fosse muito densa e consequentemente muito dispendiosa.

A Figura III-27c mostra um perfil adquirido na vizinhança do Terminal Norte do Porto de Aveiro (Pinheiro *et al.*, in prep.). Neste perfil observam-se com grande detalhe as variações laterais dos vários tipos de sedimentos superficiais, que repousam sobre as margas do Cretáceo.

A Figura III-28 mostra um exemplo de um outro perfil, adquirido no Porto de Leixões, em 2009 (Pinheiro *et al.*, in prep.), que exemplifica uma área de grande variabilidade espacial da geologia de sub-superfície a distâncias da ordem de poucas dezenas de metros (presença de espessura significativa de sedimentos ao longo de canais, encaixados em soco metamórfico e ígneo que forma diversos altos estruturais no fundo e na sub-superfície - os leixões).

Com a aquisição prévia de perfis deste tipo, com custos muito baixos quando comparados com os associados à realização de sondagens, não só se podem planear de uma forma muito mais eficaz as sondagens a realizar, como se podem correlacionar lateralmente as unidades litológicas identificadas nas sondagens, pois o aspecto pontual das sondagens é colmatado pela excelente cobertura lateral dos perfis sísmicos. Sem este conhecimento *à priori*, seria muito mais difícil e consideravelmente mais dispendioso determinar estas variações laterais com base apenas em sondagens, que teriam que ser realizadas segundo uma malha muito densa, uma vez que a sua informação é essencialmente pontual e a correlação lateral entre sondagens em áreas de geologia complexa tem associado um elevado grau de incerteza.

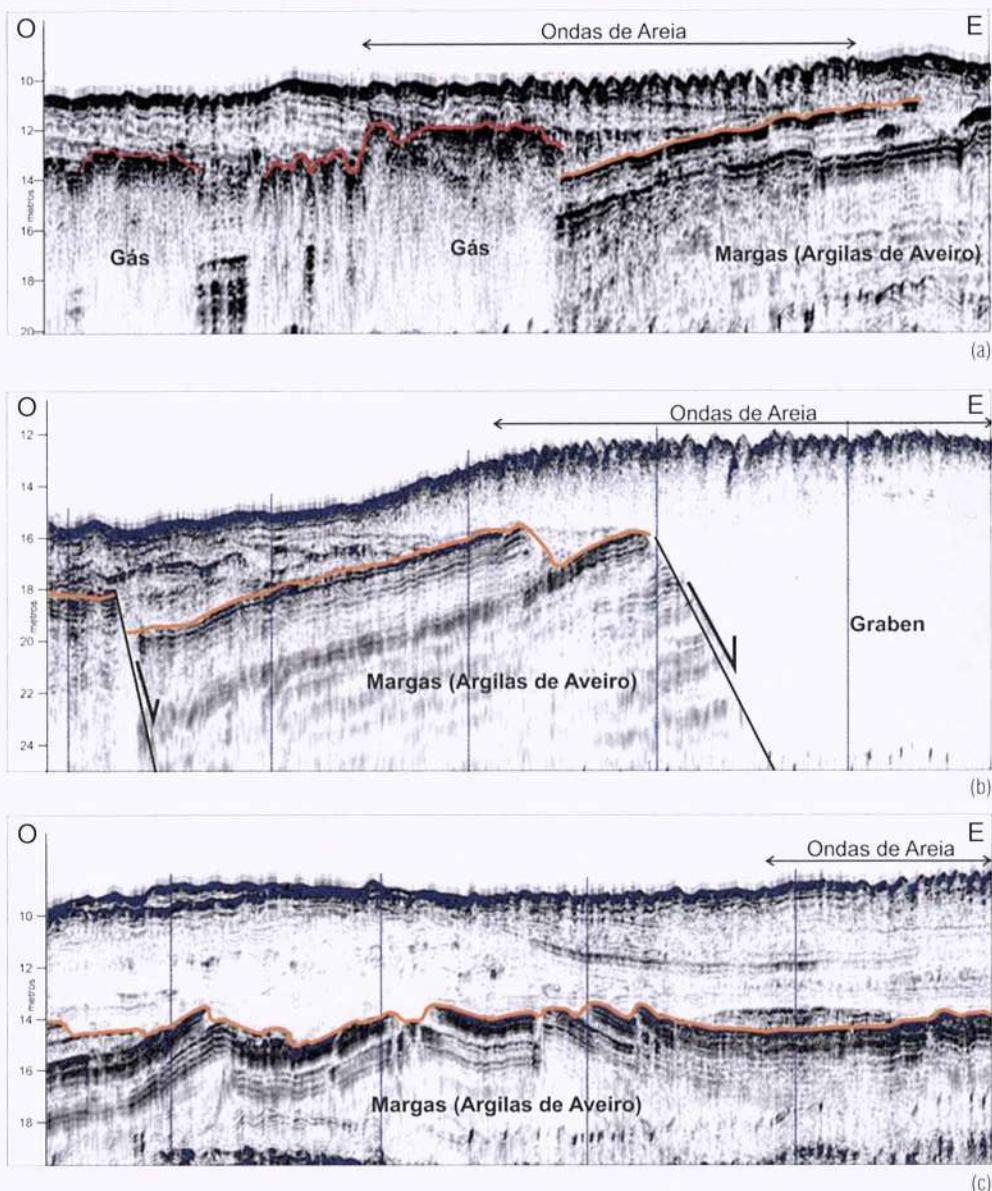


Figura III-27 - Perfis sísmicos de sonar *Chirp* adquiridos na zona portuária da Ria de Aveiro, com o Sistema EdgeTech 512i da Universidade de Aveiro (Pinheiro *et al.*, *in prep.*). (a) Perfil no Terminal Norte mostrando ondas de areia e progradação para Este das camadas superficiais que repousam discordantemente sobre as “Argilas de Aveiro” (Cretáceo), que inclinam para Oeste. Notar as acumulações de gás a pequena profundidade na zona mais a Oeste do perfil. (b) Perfil na Cale de Vila, ilustrando a variabilidade lateral da espessura dos sedimentos e da profundidade das “Argilas de Aveiro”, com a presença de um pequeno *graben* de direcção NNW-SSE. (c) Perfil sísmico na área do Terminal Norte, onde se observam com grande detalhe as variações laterais dos vários tipos de sedimentos, que repousam sobre as margas do Cretácico. Profundidades aproximadas em metros (usando para a conversão uma velocidade de 1500ms⁻¹, pelo que as espessuras reais são ligeiramente superiores). Comprimento aproximado dos perfis ~480m.

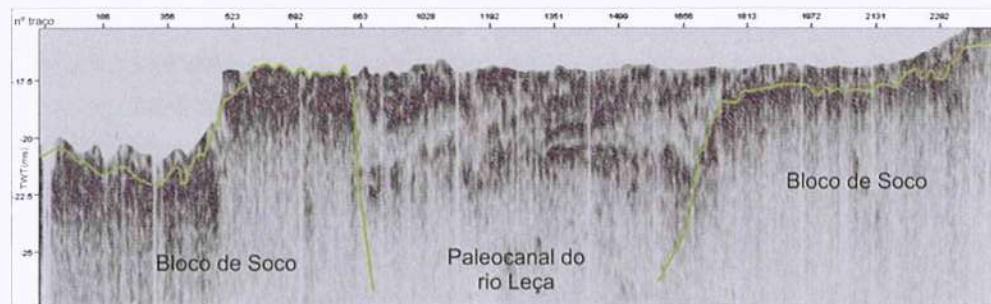


Figura III-28 · Perfil de sonar *Chirp* adquirido no Porto de Leixões, com o Sistema *Edgetech 512i* (0.5-12kHz) do Laboratório Associado CESAM, da Universidade de Aveiro (Pinheiro *et al.*, *in prep.*). Este perfil exemplifica a enorme variabilidade espacial de litologias de sub-superfície, que dificultam a correcta planificação das operações de dragagens, quando baseadas apenas em dados de sondagens pontuais, entre as quais a correlação lateral pode não ser directa.

2.2.3.2. Exemplos de levantamentos com Sonares de Varrimento Lateral

A Figura III-29 mostra um mosaico de sonar de varrimento lateral adquirido na entrada da Barra do Porto de Aveiro (entre os molhes Norte e Sul), pela Universidade de Aveiro e projectado sobre a batimetria fornecida pela Administração do Porto de Aveiro, S.A. (Pinheiro *et al.*, *in prep.*). Este mosaico demonstra claramente a potencialidade deste método na identificação de variações laterais do tipo de sedimentos e formas de fundo, assim como na deteção de áreas de afloramento de materiais rochosos ou ocorrência de blocos soltos junto aos molhes (Figura III-29). É ainda notória a presença de ondas de areia junto ao molhe Sul, com comprimentos de onda que variam entre os 5 e os 10m.

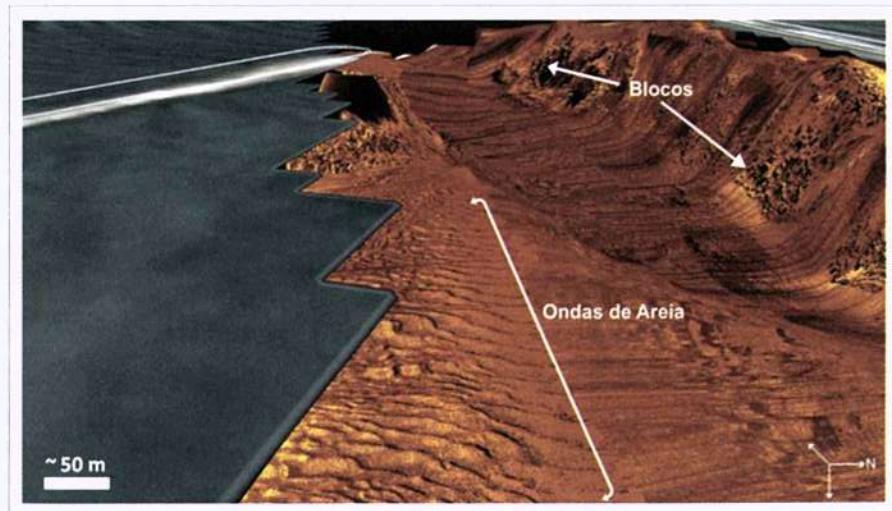


Figura III-29 · Mosaico de sonar de varrimento lateral da zona da entrada da Barra de Aveiro, projectado na batimetria. Note-se a presença de ondas de areia junto ao molhe Sul e de blocos junto ao molhe Norte. Estes dados foram adquiridos com o sistema *Edgetech 512i* da Universidade de Aveiro.

Em suma, a interpretação de dados de sonar de varrimento lateral permite obter informações acerca da distribuição espacial dos sedimentos e formações geológicas de fundo e detectar a presença de objectos que aí se encontram, tais como embarcações afundadas ou tubagens. Estas informações complementam claramente as obtidas com os métodos sísmicos, que permitem cartografar a geologia de sub-superfície, e desta forma melhorar o planeamento das operações de dragagens e seleccionar as técnicas adequadas ao tipo das formações a dragar.

2.3. Veículos robóticos na Execução de Levantamentos Geofísicos em Áreas de Dragagens

2.3.1. Vantagens da Utilização de Veículos Robóticos Marinhos

Os métodos geofísicos aplicados em hidrografia, em prospecção geofísica marinha e na monitorização de canais de navegação, implicam normalmente a execução de levantamentos seguindo trajectórias rectilineas pré-estabelecidas. A execução destas trajectórias é frequentemente perturbada pela deriva da embarcação devida à acção das correntes oceânicas e dos ventos, bem como pelas oscilações provocadas pela ondulação marítima. Estas perturbações introduzem variações rápidas e de grande amplitude na orientação dos sensores, quer estes sejam colocados no casco quer sejam rebocados pela embarcação, e constituem uma importante fonte de ruído na aquisição dos dados geofísicos (por exemplo na sísmica de reflexão ligeira, no sonar de varrimento lateral e na batimetria multifeixe). Em muitos cenários, estes efeitos indesejáveis podem ser mitigados recorrendo à utilização de veículos robóticos submarinos, em particular aos Veículos Submarinos Autónomos (AUVs; Figura III-30a). Uma das principais vantagens apresentadas por estes veículos é a possibilidade de operarem a profundidades onde não são afectados pelas perturbações ambientais sentidas pelos veículos de superfície. A estabilidade inherente aos AUVs torna-os, assim, ideais para a aquisição de dados geofísicos de alta resolução cuja qualidade depende da estabilidade do veículo.

A utilização de AUVs pode significar uma considerável redução dos custos de operação, em termos de pessoal, embarcações e combustível. Actualmente, existem versões portáteis deste tipo de veículos que podem ser colocados na água por uma ou duas pessoas a partir de um cais ou de um pequeno bote e deixados a operar de forma autónoma, sendo posteriormente recolhidos de forma similar.

Os Veículos Autónomos de Superfície (ASVs) constituem uma outra gama de veículos com elevado potencial de aplicação nas tarefas de mapeamento de fundos marinhos e fluviais de baixa profundidade. Os ASVs apresentam a vantagem de poderem utilizar o sistema de posicionamento por GPS/DGPS, o que permite obter uma elevada precisão do posicionamento horizontal dos dados mapeados, com um custo reduzido (Figura III-30b).

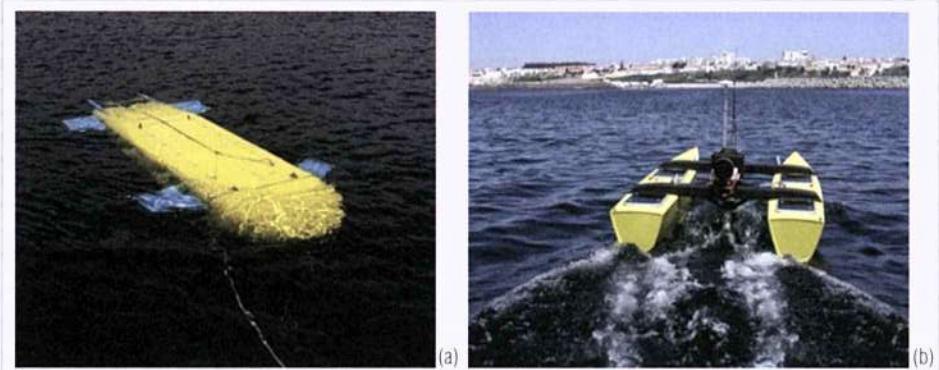


Figura III-30 - (a) AUV *Infante* e (b) ASV *Deltim-X*, ambos veículos autónomos desenvolvidos e operados pelo Instituto Superior Técnico/Instituto de Sistemas e Robótica (IST/ISR). O AUV *Infante* dispõe de um sistema de navegação baseado em Doppler Velocity Logger e uma unidade de orientação e altitude. Está equipado com sonar de varrimento lateral, *pencil beam sonar* de varrimento mecânico, câmara de vídeo e diversos outros sensores. Tem um comprimento fora-a-fora de 4.5m. A profundidade máxima de operação é 500m. A velocidade máxima é de aproximadamente 5nós. A velocidade de cruzeiro de 2.5nós tem uma autonomia de cerca de 83km. O ASV *Deltim-X* é um catamarã de propulsão eléctrica, com 4.5m de comprimento por 2.4m de largura, que está equipado com sistemas avançados de navegação e controlo para execução de missões em modo completamente autónomo. A navegação é implementada através da integração de dados obtidos por uma unidade de orientação e altitude e GPS diferencial (DGPS). O veículo comunica com o centro de apoio em terra ou num navio de apoio através de uma ligação rádio. Para executar missões de batimetria e caracterização do fundo marinho está equipado com *pencil beam sonar* de varrimento mecânico e um Sonar de Varrimento Lateral (fotografias cedidas pelo Laboratório de Robótica Oceânica e Sistemas Dinâmicos do IST/ISR).

2.3.2. Principais Tipos de Veículos Robóticos Marinhos: AUVs e ASVs

Veículos submarinos autónomos - Autonomous underwater vehicles (AUVs)

Um AUV é um veículo robótico submarino não tripulado que navega seguindo trajectórias pré-programadas, podendo modificar a sua trajectória de forma autónoma em função dos objectivos da missão para que foi programado. A navegação deste tipo de veículos baseia-se normalmente em métodos *dead-reckoning*, recorrendo a Sistemas de Navegação Inercial⁷ (INS) para estimativa da velocidade e posição do veículo ou a sistemas do tipo *Doppler Velocity Logger*⁸ (DVL). Os sistemas DVL permitem medir a velocidade em relação à água ou em relação ao fundo marinho e são integrados com unidades

⁷Sistemas de Navegação Inercial (INS): são sistemas de ajuda à navegação que utilizam sensores de movimento para determinar de forma contínua no tempo a posição, a orientação e os vectores de velocidade (linear e angular) de um veículo em movimento, sem necessidade de recorrer a referências externas.

⁸ *Doppler Velocity Logger* (DVL): sistema que emprega normalmente quatro feixes sonar para medir a velocidade relativa em relação ao fundo marinho ou em relação a uma camada de água de referência, com base no desvio de frequência (efeito *Doppler*) detectado nos sinais acústicos reflectidos nessa superfície.

de referência de orientação e altitude (AHRS) que determinam a orientação e as velocidades angulares do veículo. Para aumentar a precisão do posicionamento, a informação obtida com base em INS/DVL pode ser integrada com dados de sistemas de triangulação acústica - *long baselines* (LBL), *short baselines* (SBL), bóias instrumentadas com GPS (GIB) ou *ultra-short baselines* (USBL) - baseados em *transponders* colocados no fundo, na coluna de água ou no casco de um navio de apoio.

Veículos autónomos de superfície – Autonomous Surface Vehicles (ASVs)

Um ASV é um veículo robótico não tripulado que navega à superfície seguindo trajectórias pré-estabelecidas, estando capacitado para modificar a sua trajectória de forma autónoma em função dos objectivos da missão para que foi programado e para evitar colisões com outros veículos ou obstáculos. Este tipo de veículos apresenta a vantagem de poder ser reprogramado através de uma ligação rádio a partir de um centro de operações em terra ou num navio e de poder transmitir, pelos mesmos meios, os dados adquiridos em tempo real. A navegação de ASVs baseia-se principalmente na utilização de GPS/DGPS. Embora estejam sujeitos às perturbações que afectam qualquer embarcação que navegue à superfície, os sistemas avançados de navegação e controlo deste tipo de veículos permitem compensar estas perturbações e assegurar a execução das trajectórias programadas com uma precisão muito elevada. Estes veículos estão normalmente equipados com sensores de movimento (orientação e altitude) que podem ser usados em tempo real ou em pós-processamento para correcção dos dados adquiridos.

2.3.3. Requisitos e Custos da Utilização de Veículos Robóticos

Os AUVs são veículos ideais para executar o tipo de tarefas repetitivas envolvidas em levantamentos geofísicos desde que para tal se disponha de um sistema de navegação fiável para estimar a sua posição, velocidade e orientação, e para geo-referenciar os dados adquiridos. Os requisitos em termos do equipamento utilizado na navegação destes veículos variam conforme a precisão pretendida para o posicionamento dos dados, a escala do levantamento e, no caso dos AUVs, a extensão dos percursos que o veículo terá que executar sem recurso a meios externos (como o GPS) para correcção da sua localização. Os sistemas de navegação inercial (INS) são utilizados para estimar a posição e a velocidade de um veículo com uma precisão muito elevada em curtos intervalos de tempo e, quando integrados com outros sistemas de navegação, proporcionam uma elevada qualidade em termos de posicionamento. No entanto, estes sistemas apresentam um custo elevado que não se justifica em muitas aplicações.

Em levantamentos de pequena escala, o recurso a navegação *dead-reckoning*⁶ baseada em sistemas

Doppler (DVL) integrados com sensores de altitude pode ser suficiente para assegurar uma elevada precisão na estimação da velocidade e posição de um AUV. Alternativamente, a navegação pode ser implementada recorrendo à determinação da posição por GPS numa série de pontos à superfície e utilizando *dead-reckoning* entre esses pontos quando o veículo está submerso. Esta última solução tem sido implementada em sistemas de baixo custo mas limita a aplicação do veículo a ambientes onde as velocidades das correntes sejam reduzidas. Quando a natureza dos estudos requeridos por uma determinada aplicação implique a repetição dos levantamentos numa mesma área, pode justificar-se em termos económicos a instalação de sistemas de triangulação acústica do tipo *long baseline*, *short baseline* ou bóias instrumentadas com GPS (GIB) dedicados à navegação de veículos robóticos sub-aquáticos. Um exemplo deste tipo de aplicações é a execução repetitiva de levantamentos hidrográficos associados à monitorização de canais de navegação, bem como ao controlo e à verificação final de trabalhos de dragagens de manutenção.

Um dos principais problemas actuais da utilização dos ASVs consiste na inexistência de regulamentação para a sua navegação em modo autónomo, devido, sobretudo, ao risco de colisão com outras embarcações em zonas de tráfego marítimo elevado, como é o caso dos portos. As operações que envolvem este tipo de veículo podem implicar o acompanhamento a curta distância por uma pequena embarcação tripulada (um bote semi-rígido, por exemplo) e implicam normalmente o estabelecimento de restrições ao tráfego na área de operação. O mesmo tipo de requisitos é aplicável à navegação de AUVs quando estes navegam a baixas profundidades em zonas em que existe o risco de colisão com navios e embarcações.

2.3.4. Exemplos de Utilização de Veículos Robóticos

Na última década, a eficácia dos ASVs tem sido demonstrada em mapeamentos com Sonar de Varrimento Lateral (SVL) e em levantamentos hidrográficos utilizando sonares de varrimento mecânico do tipo *pencil beam sonar*¹⁰ (PBS), conforme ilustrado na Figura III-31. Os AUVs têm sido utilizados em mapeamentos com Sonar de Varrimento Lateral e em levantamentos hidrográficos de elevada precisão, utilizando quer sistemas PBS quer sistemas multifeixe. As primeiras aplicações dos AUVs

⁹Navegação *dead-reckoning*: processo de estimar a posição do veículo, baseada numa posição previamente determinada e no avanço em relação a essa posição calculado com base no vetor velocidade medido e no tempo decorrido desde a última determinação da posição.

¹⁰*Pencil-beam Sonar* (PBS): sistema que emite um feixe acústico com uma abertura muito reduzida (tipicamente 1º a 2º) e frequência elevada (600KHz a 1MHz ou superior), permitindo efectuar levantamentos sonar de elevada precisão. Este equipamento é normalmente acoplado a um sistema de varrimento mecânico que permite cobrir ângulos de 180º ou superiores. É especialmente indicado para traçar perfis de secção de condutas ou valas submarinas, para o levantamento de canais de navegação e para mapeamentos precisos de enrocamentos ou de fundações de obras marítimas.

à geofísica marinha foram de carácter científico, sobretudo em missões executadas a grandes profundidades (milhares de metros) que seriam inviáveis sem este tipo de veículo. No entanto, nos últimos anos a sua utilização tem sido grandemente diversificada. O seu potencial de aplicação a actividades comerciais é ilustrado pelos resultados dos levantamentos hidrográficos a baixas profundidades, em áreas de actividade portuária e zonas de dragagens, que são apresentados nas Figuras III-31 a III-34.

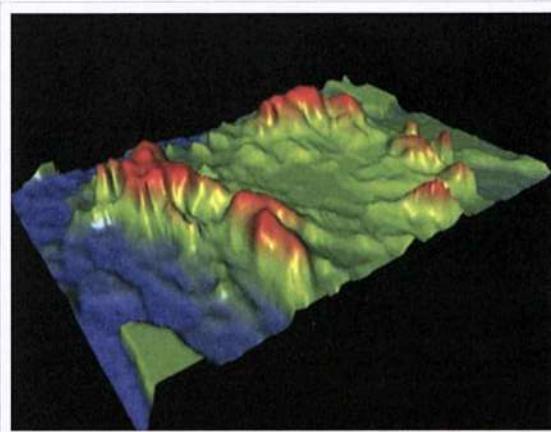


Figura III-31 - Mapa batimétrico do topo da montanha submarina D. João de Castro, nos Açores, obtido com base no levantamento de *Pencil Beam Sonar* executado pelo ASV *Delfim* (Dados propriedade do IST/ISR).



Figura III-32 - AUV Gavia da empresa finlandesa *Hafmynd Ehf*¹¹. É um veículo portátil (pode ser transportado por duas pessoas), equipado com sistemas de navegação INS/DVL e posicionamento DGPS. Pode ser programado remotamente através de uma ligação de rede wireless. É um sistema modular que pode ser convertido para executar diferentes tipos de missões: sonar de varrimento lateral, levantamentos batimétricos (*swath*), inspecção de condutas submarinas e monitorização ambiental, entre outras. O veículo mede 2.60m e pesa 80kg (fora de água) quando configurado para efectuar levantamentos batimétricos.

¹¹A informação apresentada nesta figura e nas seguintes foi obtida com autorização expressa da empresa *Hafmynd Ehf* que foi adquirida posteriormente, em Setembro de 2010, pela *Teledyne Benthos*, uma subsidiária da *Teledyne Technologies Inc.* Actualmente, a *Hafmynd* opera sob a designação *Teledyne Gavia Ehf*.

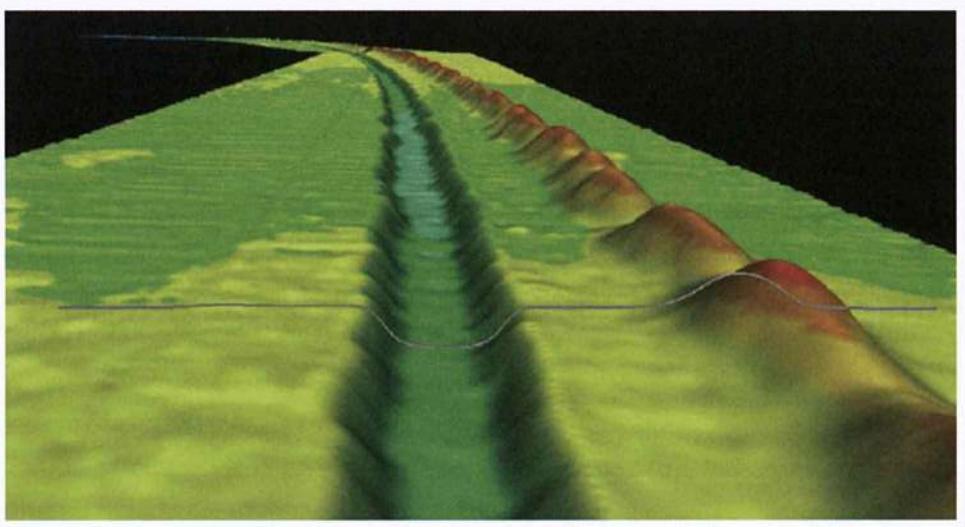


Figura III-33 - Exemplo de mapeamento batimétrico do tipo multifeixe executado pelo AUV *Gavia* usando o sistema *AutoTracker* que permite navegar o AUV a uma distância constante de uma conduta ou de uma anomalia batimétrica baseado na informação recebida do sonar de varrimento lateral instalado no veículo (imagem cedida pela empresa *Hafmynd Ehf*).

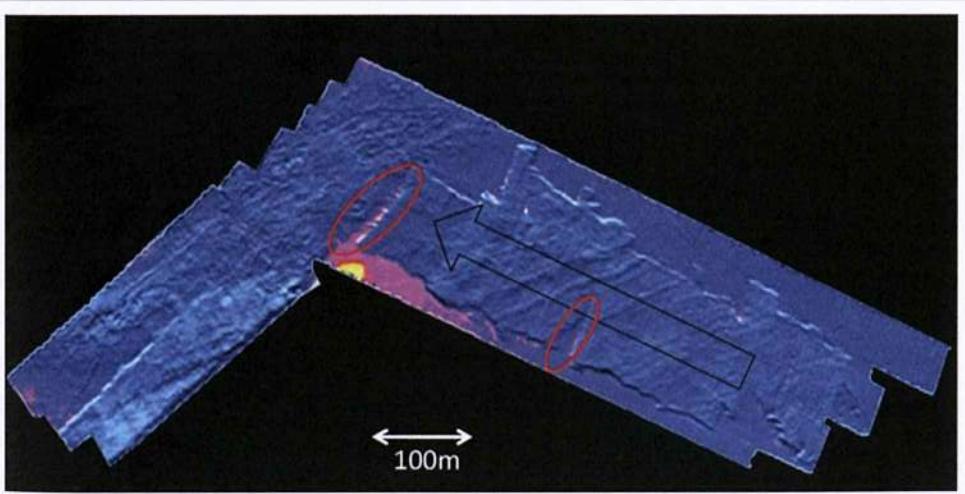


Figura III-34 - Mapeamento batimétrico do tipo multifeixe executado pelo AUV *Gavia* no acesso ao porto de Baku no mar Cáspio (Arzebijão). O levantamento foi realizado pelo AUV em menos de 1 hora, com base em seis linhas de 500m, espaçadas de 40m, navegando a uma profundidade constante. As áreas assinaladas a vermelho mostram as barras de areia, que não tinham sido detectadas num levantamento batimétrico anterior, com marcas de embate de quilhas de navios. (Imagen cedida pela empresa *Hafmynd Ehf*, mais informação em http://www.hydro-international.com/news/id2210-AUV_Harbour_Approach_Survey_in_the_Caspian_Sea.html).

2.4. Conclusões

As operações de dragagem, quer na manutenção de áreas portuárias, para o aprofundamento dos canais de navegação, quer para a extração de agregados, utilizados na construção ou na alimentação artificial de praias, são uma necessidade cada vez mais recorrente. A planificação adequada de uma dragagem requer a identificação do tipo e espessura de sedimentos existentes na área a dragar e das formações geológicas de fundo e subjacentes. Só desta forma é possível seleccionar as técnicas e os equipamentos mais adequados ao tipo de material a dragar e prever eventuais dificuldades a encontrar durante estas operações. É na planificação e na monitorização das operações de dragagem que os métodos geofísicos representam um papel muito importante. De facto, a amostragem directa permite determinar com certezas absolutas o tipo de sedimentos, assim como a sua caracterização granulométrica e mineralógica, no entanto é um método muito dispendioso e apenas pontual, não sendo, de uma forma geral, directa a sua extrapolação espacial.

Assim, haverá toda a vantagem em efectuar um levantamento geofísico prévio da área a dragar, em particular utilizando reflexão sísmica de alta resolução e sonar de varrimento lateral, de preferência conjugados com batimetria de alta resolução, antes de realizar as sondagens ou iniciar as operações de dragagem. Estes métodos, consideravelmente menos dispendiosos, permitem obter uma imagem detalhada da variação espacial das várias unidades sedimentares, tornar a extrapolação espacial mais fiável, e estimar a sua espessura. Torna-se assim possível planejar o melhor local para efectuar as sondagens a realizar (de forma a estas serem representativas e poderem calibrar os dados sísmicos) e reduzir o seu número, diminuindo assim significativamente os custos associados. Pode-se ainda minimizar os riscos associados às operações de dragagem, prever eventuais problemas a encontrar durante estas operações, seleccionar as técnicas de dragagem mais adequadas ao tipo de material a dragar, e ainda cartografar os habitats de fundo, de grande importância para a identificação e minimização dos impactos ambientais associados a este tipo de intervenções.

A aquisição de dados geofísicos com recurso a veículos autónomos tem vindo a revelar-se altamente vantajosa e parece muito promissora num futuro próximo. Estes veículos podem operar a profundidades onde sofrem efeitos reduzidos, ou até nulos, das correntes oceânicas, ventos e ondulação marítima, pelo que a sua estabilidade os torna ideais para a aquisição de dados geofísicos de alta resolução, cuja qualidade está largamente dependente da estabilidade do veículo. Estes veículos permitem ainda a redução dos custos de operação no que se refere a pessoal, embarcações e combustível.

Impacto das dragagens

CAPITULO IV



1. Impactos Ambientais

1.1. Introdução

A dragagem tem vindo a ser assumida como uma actividade de extrema importância e mesmo imprescindível para as actividades portuárias, desde a construção de novas infra-estruturas até à manutenção e operacionalização sustentada dos portos já existentes.

Estabelecendo os elos de ligação entre os *continentes* e os oceanos, as principais zonas portuárias localizam-se em áreas costeiras e estuarinas. Por sua vez, os ambientes estuarinos são ecossistemas de transição entre o continente e o oceano, onde a dinâmica sedimentar e o efeito lampão do ambiente salino promovem a precipitação e retenção de muitos contaminantes nos sedimentos destes ecossistemas aquáticos. Ao longo do tempo, a dinâmica sedimentar estuarina conduziu a um determinado perfil de equilíbrio cujo processo de dragagem pretende moldar de acordo com os principais interesses das autoridades (locais e regionais), dos agentes económicos e da comunidade em geral. No entanto, num projecto que envolva trabalhos de dragagem não é apenas o legado retido no material a dragar cujo impacto potencial urge avaliar mas também os impactos colaterais (ressuspensão, dispersão e re-estabelecimento de novos equilíbrios – tanto no local intervencionado, como a montante e a jusante) e os eventuais impactos nas áreas de depósito dos materiais dragados.

As operações de dragagem interferem com várias matérias, abrangendo questões relacionadas com a fisiografia (topo-hidrografia, geomorfologia e dinâmica estuarina), qualidade do ambiente (qualidade da água e dos sedimentos, ruído, poeiras), ecologia (flora e fauna) e factores humanos (ex. sócio-economia, ordenamento do território e património). Em geral, mas com maior relevo nos locais de risco, “a alternativa zero”, a não implementação de um projecto que envolva dragagem (mantendo as condições de assoreamento, com risco da manutenção das condições de navegabilidade necessárias à utilização de uma infra-estrutura portuária) confronta-se com os impactos positivos esperados na sócio-economia consequentes da execução do projecto, mas também com os impactos negativos decorrentes das actividades de dragagem e da eliminação/depósito dos materiais dragados. É neste contexto que os estudos de impacto ambiental apresentam particular relevância, não apenas na de-

terminação dos níveis de concentração de um específico contaminante nos sedimentos a dragar, mas principalmente na avaliação dos efeitos da exposição (crónica ou aguda) dos organismos aos diversos potenciais tóxicos, com relevo para o efeito cumulativo da exposição a misturas de vários contaminantes em concentrações reduzidas.

O grupo de Ecotoxicologia do Departamento de Biologia e do CESAM, da Universidade de Aveiro, tem participado em diversos estudos de impacto ambiental de âmbito nacional e internacional, dispondo de excelentes condições a nível de infra-estruturas e de conhecimentos para a realização de testes e ensaios *in situ* e/ou em laboratório para avaliação dos impactos da exposição do biota a diversos tóxicos. A escolha da "espécie ideal" do biota para a realização dos diversos testes e ensaios obedece a critérios que vão desde a respectiva representatividade nos diversos níveis tróficos, até à maior ou menor facilidade de manutenção e reprodução em laboratório.

1.2. Tóxicos e Toxicidade

De um modo geral, um tóxico (por vezes também designado por toxina) é um agente que pode provocar, num sistema biológico, uma resposta (ou efeito) adversa, levando a alterações perniciosas na sua estrutura ou função, ou provocando a morte. Esta resposta adversa é, normalmente, definida em termos de uma medida que se encontra fora da gama normal de respostas inerente à variabilidade intrínseca dos sistemas biológicos. Uma substância química, por muito inócuia que seja, pode sempre exercer efeitos prejudiciais, se entrar para o alvo biológico em quantidade suficiente. Pelo contrário, a absorção de pequenas quantidades de substâncias consideradas tóxicas poderá não produzir qualquer efeito tóxico visível. Portanto, nenhuma substância é totalmente inócuia ou tóxica. O que vai determinar a inocuidade ou toxicidade duma substância é a relação entre a concentração (quantidade) da substância, a que o alvo biológico está exposto, e o tempo (duração) de exposição. A medida da severidade da resposta resultante dessa exposição é a relação concentração/resposta.

Toxicidade é uma propriedade relativa de um tóxico, que indica o seu potencial para provocar um efeito pernicioso. É função da concentração da substância e da duração (tempo) de exposição. Num gráfico que relate a concentração de uma toxina com os efeitos provocados, pode-se ter três rectas com declive diferente e com o mesmo valor de CL50; cada recta poderá representar o modo de acção de três tóxicos diferentes. Quando o declive é menor, grandes variações na concentração provocam pequenos incrementos na resposta. Tal pode ser indicativo de uma taxa de absorção reduzida, taxa de excreção elevada ou de um tóxico de acção lenta. Quando o declive é maior, grandes variações na resposta estão associados a pequenos incrementos da concentração. Isso pode ser indicativo de uma rápida absorção ou de uma indução de efeitos bastante rápida. Note-se, no entanto, que diferenças no declive nem

sempre indicam um diferente modo de acção, ou diferenças na composição do material tóxico. Elas poderão indicar que as populações ensaiadas diferem na sua sensibilidade, devido a heterogeneidade no tamanho dos organismos utilizados, estado nutricional, idade, etc.

1.2.1. Toxicidade Aguda e Crónica, Efeitos Letais e Sub-letais. Tipos de Ensaios, suas Vantagens e Desvantagens

A toxicidade duma substância é determinada através da realização de testes ou ensaios de toxicidade. Estes ensaios de toxicidade são utilizados para avaliar os efeitos adversos dos compostos químicos nos organismos vivos sob condições padronizadas e reprodutíveis, de modo a permitir comparar ensaios e seus resultados, que sejam efectuados em vários laboratórios ou num mesmo laboratório mas em alturas diferentes.

Os efeitos tóxicos podem ser letais (morte) e sub-letais ou crónicos (alterações de crescimento, desenvolvimento, reprodução, respostas patológicas, bioquímicas, fisiológicas e comportamentais). Estes efeitos podem ser expressos por critérios quantificáveis como sejam o número de organismos mortos, percentagem de ovos viáveis, alterações no comprimento e peso, percentagem de inibição enzimática, número de anormalidades esqueléticas e de incidência de tumores.

Pode-se colocar a questão da justificação do uso destes critérios. Um efeito crónico é, quase sempre, produzido por condições tóxicas que diminuem a eficiência metabólica e/ou comportamental dos organismos. Para se determinar os efeitos dum tóxico (ou duma descarga de efluentes, por exemplo) devem-se sempre considerar as possíveis influências nefastas sobre o sucesso reprodutivo; isto é, sobre a capacidade dos ovos serem produzidos, de passarem a juvenis, destes atingirem o estado adulto e, finalmente, sobre a capacidade destes adultos se reproduzirem com sucesso. Além disso, deve-se também considerar possíveis influências sobre a capacidade de crescimento somático dos organismos.

Uma vez que as espécies, potencialmente afectadas, deverão também ser capazes de competir com outras espécies, também são de considerar possíveis alterações comportamentais induzidas pela presença de um tóxico, pois é o seu comportamento que capacita a espécie a escapar aos seus predadores e, por vezes, também a se adaptar a variações ambientais. Se o comportamento for afectado, o organismo provavelmente não sobreviverá.

Os efeitos tóxicos podem ser consequência de curtos períodos de exposição, ou de períodos de exposição mais prolongados. Nos períodos agudos de exposição, os organismos entram em contacto com o composto químico, libertado em grandes concentrações num único evento ou em múltiplos eventos, durante um curto período de tempo (horas ou dias). Uma exposição aguda a compostos

químicos que sejam rapidamente absorvidos produz, normalmente, efeitos imediatos, mas pode também produzir efeitos a mais longo prazo semelhantes aos resultantes de uma exposição crónica. Nos casos em que há um período de exposição prolongada, ou crónico, os organismos são expostos a concentrações reduzidas dumha substância química, que entrará no sistema de forma contínua ou com intervalos frequentes, durante um longo período de tempo (semanas, meses, anos). Além dos efeitos crónicos já referidos, a exposição crónica pode também induzir efeitos imediatos.

Com base no tipo de efeito que se manifesta e no tempo de exposição, os testes ou ensaios de toxicidade podem ser classificados em dois grandes grupos: agudos (efeitos letais) e crónicos (efeitos sub-letais). Por sua vez, se nos referirmos ao fluxo do tóxico durante o teste (ou seja, ao modo como o tóxico é fornecido aos organismos), os ensaios poderão ser divididos em três grupos: estáticos, fluxo contínuo e semi-estáticos (renovação).

Toxicidade aguda pode ser definida como os efeitos severos sofridos por organismos devido a curtos períodos de exposição a toxinas. O objectivo dos testes de toxicidade aguda é determinar a concentração de uma dada toxina (ou toxinas) que provoque numa suspensão celular, tecido, organismo, ou numa população, uma resposta específica durante um período de exposição relativamente curto. Nos testes agudos (por vezes designados por letais) o período de exposição é curto (24 a 96 horas, podendo ir até 10 dias), quando comparado com a duração de uma geração do organismo utilizado no teste; os organismos são expostos a concentrações crescentes da toxina (que normalmente seguem uma série logarítmica); efectuam-se na ausência de alimento; normalmente, não há renovação do meio (ou seja, são ensaios estáticos); a resposta (ou efeito) estudada é a morte ou imobilização; os parâmetros de medida podem ser a CL₅₀, a CL₁₀ ou a CE₅₀, que representam a concentração que, no final do teste, causa 50% de mortalidade (ou, respectivamente, imobilidade ou efeito) nos organismos experimentais. De notar que este valor deverá ser sempre acompanhado do tempo de exposição (por exemplo CL₅₀, -24 horas).

Por vezes, também aparecem referidos valores de CL₉₀, etc. Por exemplo, pode-se determinar uma CL₉₀ para remover espécies indesejáveis de uma reserva de pesca, ou um CL₁₀ para assegurar a sobrevivência de peixes expostos a resíduos industriais. Por vezes também se refere a CL₁₀₀, definida como a menor das concentrações (no início do ensaio) da substância testada que provoca 100% de respostas, e a CL₀, definida como a maior das concentrações ensaiadas que não provoca qualquer efeito.

Os testes agudos são normalmente utilizados para avaliação preliminar e seleção das toxinas ou efluentes (*screening method*).

Os testes de toxicidade crónica têm como objectivo determinar se a exposição prolongada a concentrações de um composto químico, que se espera estarem presentes no meio, terão efeitos adversos

significativos para os ecossistemas aquáticos. Este tipo de ensaios, também por vezes designados por sub-leais, têm um período de exposição comparativamente longo, a gama de concentrações utilizada é inferior ao nível letal (pois o objectivo é a investigação dos efeitos sub-leais), os animais são alimentados durante o teste, há renovação do meio (podendo esta ser periódica ou contínua), a resposta (ou efeito) estudada são efeitos sub-leais e os parâmetros de medida são a *CENO* (Concentração de Efeito Não Observado, definida como a concentração testada mais elevada para a qual não se observam quaisquer efeitos significativos, quando comparados com os controlos) e a *CEO* (Concentração de Efeito Observado, definida como a menor das concentrações testadas onde se observam efeitos significativos, quando comparados com os controlos). Mais recentemente, alguns autores têm também utilizado valores de *CE50* referidos a ensaios crónicos.

Se classificados em relação ao regime do fluxo do meio teste, os ensaios de toxicidade podem ser sub-divididos em três grandes grupos: ensaios estáticos, semi-estáticos e de fluxo contínuo.

Nos testes estáticos, o tóxico e a água de diluição são introduzidos no início do teste, não sendo a solução-teste renovada até ao final do ensaio (logo, são necessárias quantidades reduzidas da toxina). Estes ensaios são relativamente simples, facilmente controláveis e têm custos de execução reduzidos. Sendo um método rápido (não duram mais que 96 horas), são utilizados como primeiro passo para avaliação preliminar e verificação da toxicidade. São apropriados para a detecção e avaliação de compostos estáveis, não voláteis, pouco degradáveis e cuja toxicidade está associada com uma baixa demanda de oxigénio. Particularmente para ensaios com efluentes, podem indicar algo sobre a persistência da toxicidade (por ex., envelhecimento do efluente). Estes ensaios apresentam algumas limitações. Assim, por vezes a concentração da toxina não se mantém constante ao longo do período do ensaio, pois a toxina pode ser removida por adsorção aos recipientes utilizados nos ensaios, volatilização, precipitação ou desintoxicação. Podem existir problemas com o oxigénio, como resultado de actividades químicas (toxina com alta demanda de oxigénio) ou microbiológicas (resultado da acumulação ou degradação do material fecal, ou mesmo por contaminação bacteriológica). Nestes ensaios apenas se podem utilizar organismos de sistemas lênticos.

Para se obterem com precisão curvas de toxicidade durante o ensaio a concentração do tóxico deve manter-se constante o mais possível. Esta é uma das maiores vantagens dos testes de fluxo contínuo. Neste tipo de ensaios, os organismos testados são submetidos continuamente a entradas e saídas de soluções frescas do material tóxico. No caso particular de efluentes, podem ser utilizados *on-site* (o efluente é tirado directamente da fonte para o diluidor do sistema de ensaio) e no laboratório; no entanto, devido ao grande volume de efluente necessário para o ensaio (por vezes, 400 l/dia) estes ensaios não costumam realizar-se *off-site*. Neste tipo de ensaios é mais fácil controlar e manter constante, ao longo do período de ensaio, a concentração da toxina testada. Logo, tem-se uma melhor estimativa

da toxicidade. A concentração de oxigénio a níveis elevados e constantes está também facilitada, e os excessos de alimento, de metabolitos ou de material fecal são continuamente removidos do sistema. Os ensaios de fluxo contínuo são especialmente recomendados para compostos muito voláteis ou pouco persistentes no meio líquido; também são recomendados para ensaios crónicos. Nestes ensaios podem-se utilizar organismos de sistemas lóticos, dando ainda uma ideia mais representativa da toxicidade aguda de efluentes, especialmente se a toxicidade variar com o tempo. Os ensaios de fluxo contínuo apresentam, também, algumas limitações, como sejam (a) a complexidade do sistema (espaço, dependência da electricidade), que requer uma atenção e manutenção mais cuidadas, para verificar o seu funcionamento normal (deve-se sempre fazer medidas pontuais da concentração na câmara do ensaio, para ver se o sistema funciona bem), (b) os custos de construção e operação e, finalmente, (c) a necessidade de grandes volumes da substância a ensaiar.

Os testes semi-estáticos (por vezes também designados de renovação periódica) representam um compromisso entre um sistema estático e um de fluxo contínuo. Nestes ensaios utiliza-se, essencialmente, o mesmo material laboratorial que nos testes estáticos. No entanto, os organismos em vez de estarem expostos à mesma solução durante todo o ensaio, são transferidos periodicamente para novas soluções de ensaio. Como nos ensaios de fluxo contínuo, a renovação periódica do meio permite a alimentação durante o ensaio sem haver acumulação de excessos de alimento, de metabolitos ou de material fecal. O aumento da frequência de manipulação dos organismos teste, podendo aumentar o stress e provocar lesões, e o facto de apenas se utilizarem organismos de sistemas lóticos são as duas desvantagens dos ensaios semi-estáticos.

1.2.2. Planeamento de um Ensaio Toxicológico

Os ensaios de toxicidade consistem em controlos e tratamentos (organismos expostos às diversas concentrações do material a testar); normalmente, por razões de cálculo estatístico (normalmente, determinação de médias e limites de confiança), os tratamentos e os controlos são replicados no mínimo três vezes; as réplicas são, como é óbvio, sempre feitas simultaneamente.

Os controlos servem para assegurar que os efeitos observados estão associados ou são imputáveis à exposição ao tóxico. Há três tipos básicos de controlos:

(i) *Controlo negativo (branco)* que consiste num grupo de organismos colocados na mesma água de diluição dos tratamentos, mas sem o tóxico ou solvente. Os organismos provêm da mesma fonte dos que são utilizados nos tratamentos.

Este tipo de controlo é utilizado para determinar possíveis efeitos que não estejam relacionados com o tóxico mas sim com aspectos relacionados com a própria água de diluição ou com a condição dos organismos-teste.

(ii) Controlo com solvente, utilizado em ensaios que testam compostos insolúveis ou pouco solúveis na água, em que é necessário um solvente orgânico para preparar as soluções-mãe do material a testar. Um solvente é um químico orgânico que é miscível na água e no qual o tóxico é mais solúvel do que na água.

Este controlo é, essencialmente, um controlo negativo, com a excepção de que lhe é adicionado o volume máximo de solvente que foi utilizado para diluir o tóxico na solução-mãe. Este controlo dá informação sobre possíveis efeitos que sejam imputáveis ao solvente (normalmente acetona ou tri-étileno-glicol).

(iii) Controlo positivo (de referência), é um controlo negativo com a adição de uma substância de referência, que é um material que produz um efeito definido, determinado em experiências prévias, sobre os organismos. Quando existe um controlo negativo ou com solvente, estes controlos não são, normalmente, considerados necessários. As substâncias de referência obedecem a um certo conjunto de características, nomeadamente o de serem tóxicas a baixas concentrações, devem induzir morte com rapidez, devem ser compostos estáveis e não selectivos no seu modo de actuação e, finalmente, devem ser detectáveis por técnicas analíticas correntes. Estas substâncias são utilizadas para determinar o estado de saúde e a sensibilidade dos organismos, comparar toxicidades relativas de substâncias utilizando o controlo como padrão interno, para efectuar calibrações inter-laboratoriais e para avaliar da reprodutibilidade dos resultados ao longo do tempo.

Antes da realização de um ensaio de toxicidade definem-se, normalmente, um certo número de condições a que o ensaio deve obedecer no final para que possa ser considerado como válido. No caso dos ensaios agudos, essas condições, designadas por condições de validade, são, normalmente, o estabelecimento de um valor máximo da percentagem de mortalidade que pode ocorrer nos organismos usados nos controlos (normalmente, a mortalidade no controlo não deve exceder os 10%); nos ensaios crónicos, flutuações exageradas de pH do meio, diminuição do oxigénio dissolvido ou produção de um número de descendentes inferior a um certo limite são exemplos de condições de validade normalmente utilizadas.

1.2.3. Critérios de Selecção das Espécies

Na selecção das espécies utilizadas nos ensaios ecotoxicológicos têm-se normalmente em conta os seguintes critérios que a espécie deverá obedecer:

- a. ser representativa de um grupo ecológico importante (em termos taxonómicos, nível trófico ou nicho);
- b. ocupar uma posição intermediária nas cadeias/redes alimentares, se possível naquelas em que o Homem é o consumidor final;

- c. estar disponível, em diferentes épocas e em número suficiente, no tamanho requerido;
- d. ser fácil de manter no laboratório, o que implica conhecimentos do seu método de cultura, logo do seu *optimum* ambiental;
- e. ser geneticamente estável (possibilidade de obtenção de estirpes geneticamente uniformes, de modo a ser possível testar populações uniformes);
- f. serem fisicamente saudáveis, livres de parasitas e doenças;
- g. existir informação de base suficiente sobre a biologia do organismo (fisiologia, genética, taxonomia, função no ecossistema);
- h. estarem entre as mais sensíveis e serem consistentes na resposta aos tóxicos, ou seja, darem sempre o mesmo tipo de resposta quando ensaiadas com o mesmo tóxico em épocas diferentes;
- i. sempre que possível, serem representativas do ecossistema que se está a analisar. Evidentemente, há que ter precauções especiais com as espécies indígenas e não se devem usar as raras ou em perigo de extinção, a não ser que sejam mantidas em laboratório.

É claro que não existe a chamada "espécie ideal" pois, por exemplo, espécies que cumprem os critérios *a* e *b* nem sempre cumprirão também os critérios *c, d, f, g, h* e *i*. Canibalismo, mortalidade devido a manipulação, problemas com o regime alimentar e incapacidade de adaptação às condições do aquário são alguns dos problemas que se podem encontrar com a selecção de espécies para utilizar nos ensaios.

Devido à variação interespecífica na sensibilidade ao stress, quando espécies diferentes são expostas à mesma gama de concentrações dum mesmo composto químico é de esperar não só uma gama de vários efeitos mas também diferenças na intensidade das respostas. É portanto importante efectuar testes com várias espécies. Normalmente utiliza-se, no mínimo, uma bateria de testes que incluem ensaios numa espécie de algas (*Chlorella, Selenastrum*), com um invertebrado - consumidor primário (*Daphnia* ou *Ceriodaphnia*) e peixe (*Danio rerio*) - consumidor secundário.

1.3. Conclusões

A aplicação dos testes toxicológicos em estudos de avaliação do impacto ambiental em projectos que envolvam dragagens proporciona uma diversidade de ferramentas produzindo resultados (qualitativos ou quantitativos) sobre os possíveis efeitos no ecossistema. Esta ferramenta proporciona às entidades competentes uma informação de melhor qualidade e científicamente fundada, que leva a uma superior capacidade de decisão entre "a alternativa zero" - não implementação do projecto – ou uma aposta na intervenção com execução do projecto proposto mas com uma ampla avaliação objectiva dos possíveis impactos negativos decorrentes das actividades de dragagem e da deposição dos materiais dragados.

2. Impactos da Exploração de Inertes na Plataforma Continental

2.1. Introdução

Em Portugal, o escoamento fluvial foi muito modificado após 1940 através da construção de barragens que reduziram substancialmente o aporte de sedimentos para o oceano. Em adição, a exploração de um volume significativo de inertes (areia e cascalho) nos estuários e rios para a construção civil e obras públicas aumentou progressivamente durante o século XX. Ambos estes factores contribuíram para o recuo da linha de costa que se tem observado (Ferreira *et al.*, 2008). Actualmente, a variação do nível médio da superfície livre do oceano derivada das alterações climáticas tem vindo a receber uma crescente atenção da comunidade científica (Andrade *et al.*, 2006; Ferreira *et al.*, 2008). A previsível intensificação da tendência já observada do aumento do nível médio contribuirá para o agravamento do problema da erosão costeira e assim para uma perda de atracividade da zona costeira.

As estratégias contra a erosão costeira têm sido baseadas na construção de estruturas rígidas de protecção costeira. É reconhecido que estas estruturas têm efeitos laterais, constituindo agentes de protecção num local mas de erosão em locais vizinhos. Esta tendência tem vindo a ser modificada com a proposta de soluções alternativas, nomeadamente, a alimentação artificial das praias. Apesar deste método não constituir a solução do problema, poderá em alguns casos mitigá-lo.

A utilização de inertes para a alimentação artificial de praias e de dunas requer uma quantidade de recurso considerável. Levanta-se assim outra questão: onde encontrar depósitos de sedimento compatíveis, em quantidade suficiente e cuja exploração não contribua para a erosão costeira?

Em alguns países tem sido prática recente a exploração de sedimentos da zona costeira, nomeadamente, da plataforma continental e da antepraias (*shoreface*), conforme se apresenta na Figura IV-1. Os recursos costeiros constituem actualmente as principais fontes de sedimento no Reino Unido e no Japão (Demir *et al.*, 2004). Em Portugal, a extração de areia da plataforma continental não tem ainda uma expressão significativa (ver Capítulo V-3; Quartau *et al.*, 2003b). De acordo com Roos (2004) e van Rijn *et al.* (2005), espera-se que a procura de inertes de origem marinha aumente significativamente no futuro próximo.

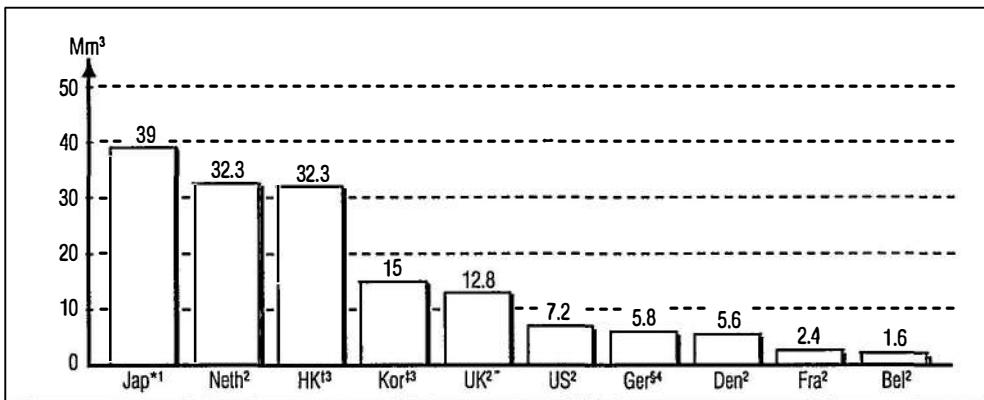


Figura IV-1 · Valores médios anuais dos volumes de areia extraídos na zona costeira em Mm³/ano: * dados de 1988; † valores médios entre 1990-98; ‡ valores médios entre 1993-95; § referente a 2000 (Roos, 2004).

A extracção de sedimentos na zona costeira tem impactos a nível da ecologia e da morfologia. A ecologia é afectada porque a flora e fauna do sistema são completamente destruídas no local da extracção; esses efeitos são tão mais importantes quanto maior for a profundidade da extracção (van Rijn e Walstra, 2002). Estes impactos podem repercutir-se a todos os animais que dependem da fauna existente no fundo. A nível da morfologia, a extracção tem impactos directos e indirectos. O processo de extracção modifica localmente a batimetria através da criação de uma escavação e, eventualmente, modifica a granulometria do sedimento de fundo e a rugosidade do fundo, através, também, da alteração das formas de fundo. Por outro lado, a escavação resultante modifica as correntes médias e o campo de agitação marítima. Dado que o transporte sedimentar é determinado pelo campo de velocidades, a extracção de inertes pode modificar o balanço sedimentar na zona costeira.

São várias as consequências destas modificações. As escavações tendem a ser preenchidas com sedimentos provenientes de locais vizinhos. Assim a escavação promove erosão nas regiões adjacentes. As modificações do campo de agitação marítima podem alterar os padrões do transporte longitudinal e, desta forma, alterar a linha de costa. Estas perturbações existem enquanto a escavação permanece no local. Assim, o tempo de regeneração da escavação assume um papel importante na quantificação dos impactos da extracção.

O planeamento e a concessão de um local para extracção de inertes na zona costeira carecem assim de um estudo prévio para estimar a natureza e a extensão dos seus efeitos. Este problema não é de fácil resolução dada a multiplicidade dos processos envolvidos (correntes, ondas, transporte sedimentar) e a sua interligação (ver a Figura IV-2), a incerteza no cálculo do transporte sedimentar (Capítulo III-1; Silva *et al.*, 2009), e as diferentes escalas de tempo envolvidas na evolução da morfologia da zona costeira (horas - centenas de anos).

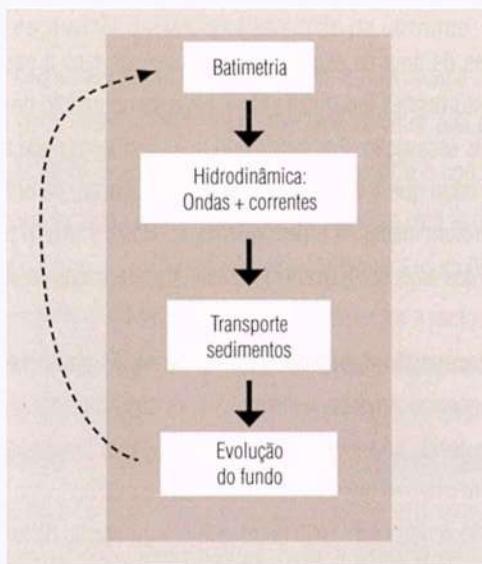


Figura IV-2 - Loop morfológico utilizado nos modelos de hidrodinâmica.

O conhecimento actual dos impactos morfológicos da extração de inertes na zona costeira provém de estudos de monitorização de escavações efectuadas e da aplicação de modelo numéricos hidrodinâmicos que, com diferentes graus de complexidade, simulam os diferentes processos intervenientes.

2.2. Escoamento na Zona de Extração e sua Influência no Transporte Sedimentar e Evolução da Escavação

O transporte de sedimentos depositados no fundo é determinado pela acção do escoamento associado a correntes médias (por exemplo, correntes de maré, correntes induzidas pelo vento) e à propagação de ondas de superfície. No caso em que o fundo apresenta declives acentuados, como pode ocorrer nas paredes laterais das escavações, a componente gravitacional do transporte é também importante. A evolução temporal de uma escavação, em particular a sua taxa de sedimentação (reenchimento) e a sua migração é ditada pelas condições hidrodinâmicas existentes e pelas características físicas do meio, nomeadamente, o local da extração (distância da costa e profundidade local), as dimensões da escavação residente e o tipo de sedimento presente no fundo. Deste modo importa caracterizar estes campos nas imediações da escavação e nas regiões circundantes.

2.2.1. Correntes

Em geral, as dimensões da área da escavação são pequenas face à escala espacial das correntes médias, pelo que as perturbações induzidas pela escavação no padrão de correntes estão geralmente circunscritas ao local da escavação. Por outro lado, o escoamento pode assumir-se como predominantemente horizontal, dado que a escala horizontal da escavação, da ordem de 10³m - km, é largamente superior à sua profundidade, da ordem de metros. Desta forma, o campo de velocidades pode ser descrito em termos das suas componentes horizontais integradas na vertical.

O eixo principal da escavação é perpendicular à direcção da corrente

Neste caso, ilustrado esquematicamente na Figura IV-3, a intensidade da velocidade da corrente diminui no interior da escavação devido ao aumento de profundidade. Esta influência é mais significativa nas camadas junto ao fundo. No caso em que o declive lateral da escavação é significativo ($> 1:5$) pode ocorrer separação do escoamento sendo esta região dominada pela produção de turbulência. Caso a largura da escavação seja pequena a zona de separação pode ocupar toda a escavação. Devido ao decréscimo da velocidade no interior da escavação a capacidade do escoamento em transportar sedimentos diminui (ver Capítulo III-1). Assim, os sedimentos que são transportados, por arrastamento ou em suspensão, das regiões fora da escavação para ela têm a tendência de se depositar no seu interior. A zona de desaceleração do escoamento (à esquerda da escavação na Figura IV-3) e a zona interior da escavação apresentam uma tendência para acreção; a zona de aceleração (à direita da escavação na Figura IV-3), pelo contrário apresenta uma tendência de erosão, porque a velocidade do escoamento aumenta e tende a mobilizar o sedimento depositado no fundo. Desta forma, para um escoamento permanente que se processa num só sentido a tendência da escavação é migrar no sentido da corrente e alterar a sua secção, diminuindo a sua profundidade e aumentando a sua largura (ver Figura IV-4a). Nos locais da zona costeira onde a corrente de maré é predominante, a escavação tende a encher e a sua migração é ditada pela assimetria da corrente de vazante e de enchente (Figura IV-4b).

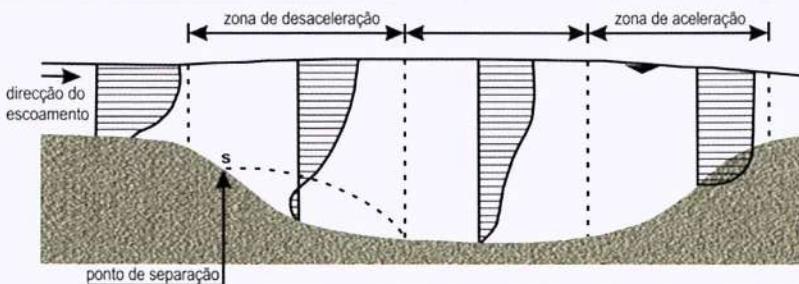


Figura IV-3 Campo de velocidades no interior de uma escavação (adaptado de van Rijn e Walstra, 2002).

O eixo principal da escavação é paralelo à direcção da corrente

Neste caso, ilustrado esquematicamente na Figura IV-5, a intensidade da velocidade da corrente no interior da escavação pode eventualmente aumentar face ao valor que tem na zona não perturbada, devido à diminuição do atrito de fundo. Isto observa-se quando o comprimento da escavação, L , é grande comparado com a sua largura, W . Observam-se também efeitos de contracção do escoamento nas paredes esquerda e direita da escavação, representadas na Figura IV-5, com um aumento súbito da velocidade do escoamento que é tanto maior quanto menor for a razão entre a largura da escavação, W , e a sua profundidade. Desta forma, devido à complexidade do escoamento na direcção do eixo da escavação, geram-se zonas alternadas de erosão e de deposição de sedimentos; em particular, o centro geométrico da escavação pode ser uma zona de erosão ou deposição de sedimento (Roos, 2004). Nos outros flancos da escavação a tendência é ocorrer transporte de sedimentos para o interior da escavação por efeito gravitacional e estes tendem a ficar com um declive menor (ver Figura IV-4c).

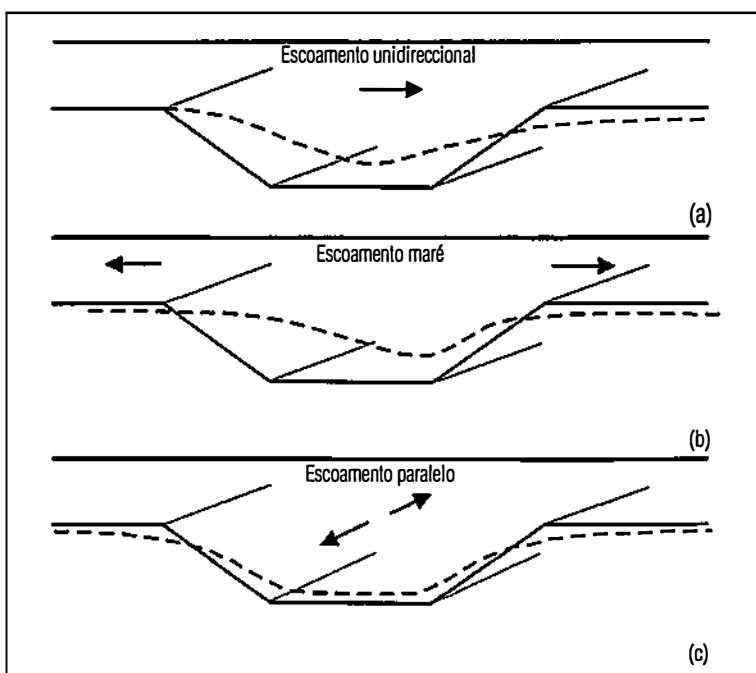


Figura IV-4 · Evolução da morfologia da escavação: em a) e b) escoamento perpendicular ao eixo da escavação; c) escoamento paralelo ao eixo da escavação (adaptado de van Rijn e Walstra, 2002).

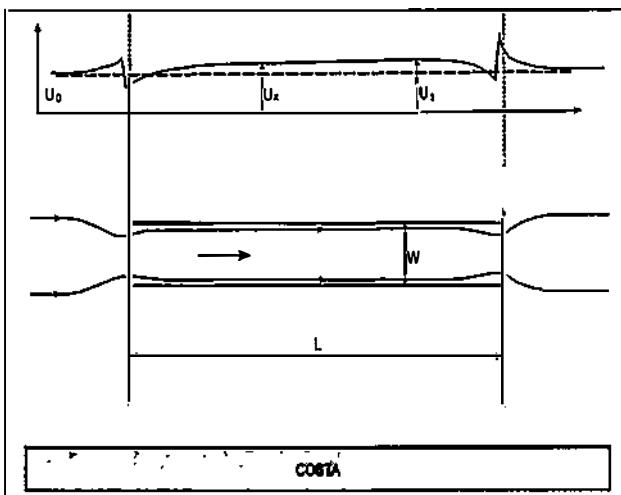


Figura IV-5 · Campo de velocidades no interior de uma escavação (adaptado de van Rijn e Walstra, 2002).

O eixo principal da escavação é oblíquo à direcção da corrente

Neste caso os padrões do escoamento descritos anteriormente ocorrem simultaneamente. A componente da velocidade perpendicular ao eixo principal da escavação é inversamente proporcional à profundidade enquanto que a componente paralela pode aumentar. Como resultado, o escoamento é deflectido na direcção do eixo da escavação, sendo este efeito mais pronunciado para as camadas junto ao fundo (ver Figura IV-6).

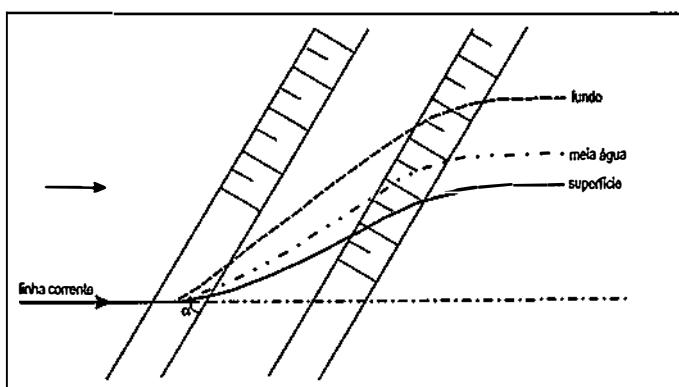


Figura IV-6 · Deflexão das linhas de corrente para um escoamento que é oblíquo ao eixo principal da escavação (adaptado de van Rijn e Walstra, 2002).

2.2.2. Ondas

A propagação de uma onda na superfície livre do oceano gera movimentos das partículas de água quer à superfície quer no interior da coluna de água. As características das trajectórias das partículas dependem da razão entre a profundidade local, h , e o comprimento de onda da onda, λ . Para o caso em que $h > \frac{1}{2} \lambda$, denominada por aproximação de águas profundas, as partículas de água movem-se na vertical para cima e para baixo mas também na horizontal efectuando um movimento composto com uma órbita circular no plano vertical. Este movimento faz-se sentir até uma profundidade de cerca de $\frac{1}{2}$ do comprimento de onda, como ilustrado na Figura IV-7. Por exemplo, para uma onda com um período de oscilação, T , igual a 7s que se propague ao largo, o comprimento de onda é definido pelo valor de T e igual a 76m. Logo o movimento da superfície livre não é perceptível para uma profundidade superior a cerca de 38m.

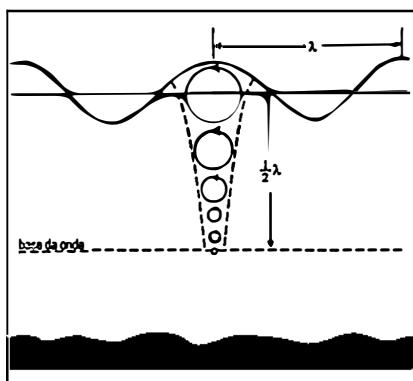


Figura IV-7 - Trajectória do movimento das partículas na aproximação de águas profundas.

Para valores da profundidades relativa (h/λ) menores que $\frac{1}{2}$ o movimento das partículas de água é modificado pela presença do fundo. Em particular, para valores de $h < 1/20\lambda$, denominada por aproximação de águas pouco profundas, a trajectória das partículas é uma elipse: a dimensão do semi-eixo horizontal não depende de z , enquanto que a do semi-eixo vertical decresce linearmente com z , como ilustrado na Figura IV-8. Neste caso, a passagem da onda na superfície livre faz-se sentir junto ao fundo.

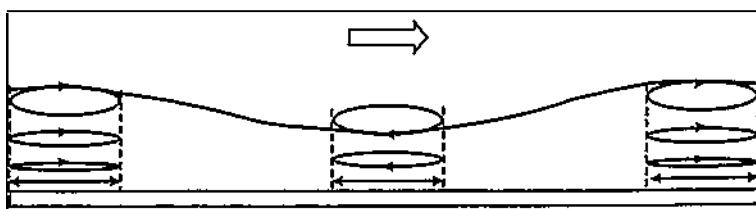


Figura IV-8 - Trajectória do movimento das partículas na aproximação de águas pouco profundas.

Entende-se assim que para as condições de agitação marítima normalmente encontradas na zona costeira, o movimento das partículas da água junto ao leito de fundo, só se faz sentir para pequenas profundidades. Este movimento orbital oscilatório tem um período idêntico ao da onda que se propaga na superfície livre e ao actuar sobre as partículas de sedimento depositadas do fundo pode mobilizá-las (*stirring action*). O transporte sedimentar resultante da acção da onda, em conjugação ou não com uma corrente média, pode induzir modificações na morfologia do leito de fundo. A profundidade a partir da qual estas alterações são detectáveis na escala de tempo de um ano para condições médias de ondulação define a profundidade de fecho, h_c . Este valor pode ser determinado em função da altura da onda e do seu período (por exemplo, Demir, 2004; Diesing *et al.*, 2006).

A alteração da batimetria decorrente de uma extração irá modificar o campo de ondulação próximo e "longínquo" e dessa forma pode ser determinante na evolução temporal da escavação e dos eventuais impactos que ela tem na linha de costa.

A Figura IV-9 ilustra esquematicamente uma praia com um perfil de equilíbrio estabelecido, na qual foi efectuada uma dragagem a uma profundidade inferior à profundidade de fecho. Nestas condições, a escavação resultante tende a encher-se de sedimentos que são transportadas das regiões vizinhas, nomeadamente das zonas de menor profundidade. No decurso do tempo, dado que a escavação actua como um sumidouro de sedimentos, a praia tenderá para um novo perfil de equilíbrio, ao qual corresponderá um recuo da linha de costa. Este recuo será proporcional ao volume do dragado. Este caso constitui um exemplo de como uma escavação, ao modificar o balanço sedimentar na direcção transversal à linha de costa, pode determinar o recuo da linha de costa.

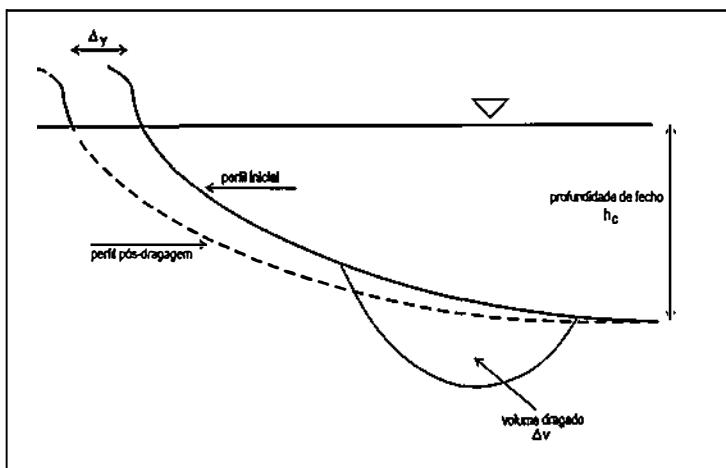


Figura IV-9 · Ilustração esquemática do perfil de praia após a extração (linha a continuo) e posterior ao enchimento da escavação (linha a tracejado) (adaptado de Demir *et al.*, 2004).

Por outro lado, uma escavação ainda que efectuada a uma distância maior da costa e para profundidades superiores à profundidade de fecho, pode induzir alterações no campo de agitação marítima, resultantes dos mecanismos de reflexão, de refracção e de difracção das ondas. Daqui podem resultar alterações da altura da onda e da sua direcção na zona de rebentação que condicionam o transporte longitudinal de sedimentos (ver Capítulo III-1) e os seus gradientes e, desta forma, a posição da linha de costa.

Considere-se a Figura IV-10, que ilustra a trajectória de raios de onda para diferentes ângulos de incidência relativamente ao eixo principal da escavação. Se o ângulo de incidência da onda for pequeno, através do processo de refracção a onda tenderá a ser reflectida (percurso A) e também refractada (percurso B) para fora da escavação. Isto acontece porque a velocidade de fase de propagação da onda depende da profundidade local. Para ângulos de incidência superiores a um valor crítico a onda atravessa a escavação e a direcção de incidência da onda não é modificada (percurso C). O ângulo crítico depende do período da onda, da profundidade da escavação e da profundidade local. Note-se, em qualquer caso, a amplitude da velocidade orbital da onda decresce no interior da escavação devido ao aumento da profundidade. A reflexão da onda pode também ocorrer quando o declive de fundo nos flancos da escavação forem elevados, 1:7 (Roos, 2004).

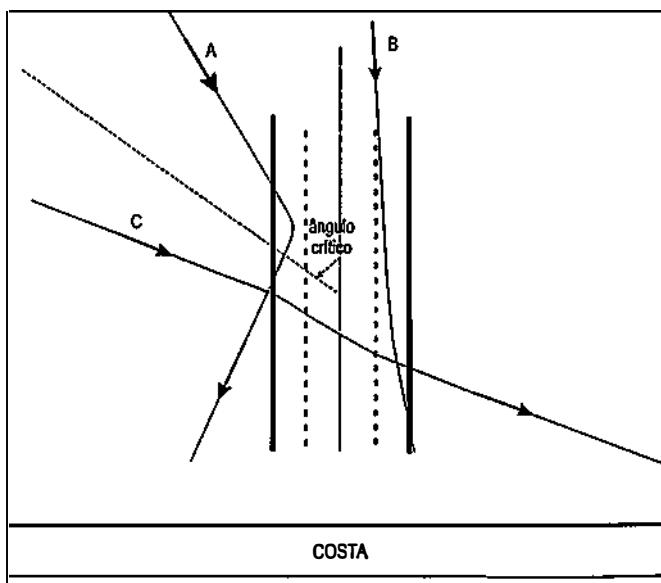


Figura IV-10 - Trajectórias dos raios de onda para diferentes ângulos de incidência
(adaptado de van Rijn e Walstra, 2002)

A Figura IV-11 apresenta os resultados numéricos da direcção e da altura da onda obtidos com os modelos REF/DIF1 e SWAN relativos a um domínio onde se efectuou uma escavação (1000m x 500m x 3m) e considerando uma onda com incidência perpendicular à costa. Verifica-se, de acordo com o referido anteriormente, que junto à costa irão formar-se duas zonas de convergência de ondas (maior concentração de energia) que ladeiam uma zona de divergência (menor concentração de energia) centrada na escavação. A altura da onda na rebentação e a sua direcção apresentam perturbações das quais resultam modificações do transporte longitudinal e da linha de costa, com o aparecimento de zonas intermitentes de erosão e de acreção.

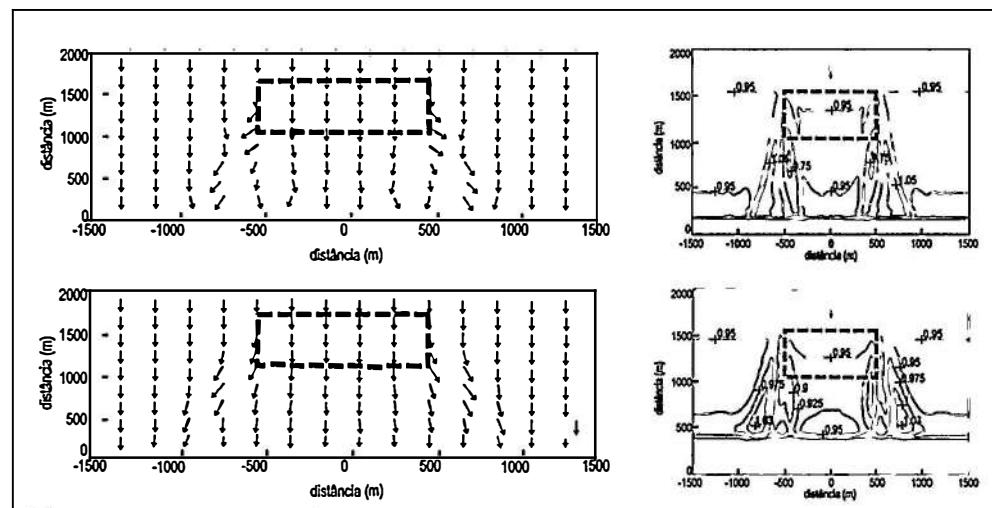


Figura IV-11 · Direcção e altura da agitação marlima nas vizinhanças de uma escavação. Resultados obtidos com o modelo REF/DIF (em cima) e SWAN (em baixo) (adaptado de Demir *et al.*, 2004).

2.3. Casos de Estudo

Existem essencialmente duas técnicas utilizadas para a extracção de inertes na plataforma e das quais decorrem diferentes geometrias da escavação (van Rijn e Walstra, 2002; Hitchcock e Bell, 2004; Kubicki *et al.*, 2007). No caso em que a sucção dos sedimentos se efectua a partir de um navio em movimento as escavações resultantes são pouco profundas e na forma de sulcos (profundidades de 0.5 até 2m, largura da ordem de poucos metros e comprimento de centenas de metros); no caso em que a draga se encontra estacionária na mancha de empréstimo a escavação resultante apresenta maior profundidade e está circunscrita a uma menor área.

Na literatura são encontrados alguns casos de estudo bem documentados, e cuja monitorização permitiu descrever a evolução temporal da escavação e impactos na linha de costa. Por exemplo, referem-se os trabalhos de Bender e Dean (2003), Hitchcock e Bell (2004), Diesing *et al.* (2006), Kubicki *et al.* (2007) e o Capítulo V-3.

Roos (2004) apresenta uma síntese de dragagens efectuadas na zona costeira de vários países (ver Tabela IV-1). A maior parte das dragagens referidas têm volumes de extração inferiores a 1Mm³, profundidades de escavação, h_{pl} , entre 2 e 10m e foram efectuadas a uma profundidade local, h_o , entre 7 e 15m. Exceptuam-se as dragagens realizadas na Holanda, *Hook of Holland* e *Terschelling* com maior volume e que foram efectuadas a uma profundidade maior. Verifica-se, em geral, que as escavações efectuadas a profundidades menores que 10m apresentam tempos de regeneração da ordem de 1 ano ou inferior enquanto que as localizadas mais ao largo $h_o > 10$ m, apresentam tempos maiores. Algumas das escavações induziram perturbações na posição da linha de costa. São agora apresentados alguns exemplos que retratam alguns dos aspectos referidos.

Tabela IV-1 · Exemplos de extrações na zona costeira (adaptado de Roos, 2004).

Local	Ano	Volume Mm ³	h_{pl} m	h_o m	tempo de regeneração / observações ano
Scheveningen	1964	0.02	2	7-10	0.5 / flancos alisados
Tosa Bay (Jap)	1978	0.4*	5-7	5-7	erosão induzida pela ondulação
Loswal / Stevin pit	1981-83	0.06	6	15.5	0.6 / areia e silte
Louisiana (US)	1983	2.5	3-6	10	modificações linha de costa
Kyushu (Jap)	1983	1-2	2-6	15-40	modificações linha de costa
Ameland	1990	0.14	7	9	1.0 / migração 20m/ano
Ameland (ctd.)	1992-93	0.25	4	10	0.5 / migração
Terschelling	1993	2.5	2	>20	não foi observada actividade em 4 anos
Bloemend / Zandv.	1993-94	-	-	7	colmatação após 8 dias
Heemskerk	1996-97	0.15	8	7-8	0.6 / acreção
Sylt (Ger)	-	-	6	14	mais estável do que esperado
Wadden Sea (Ger)	1994-98	-	-	-	estável durante 4 anos
Pakiri beach (N-Zl)	1993	0.1*	-	<8	recuperação lenta após tempestades
Hook of H / PUTMOR	99-2000	6.5	10	24	não houve modificações

*por ano

2.3.1. Grand Isle, Louisiana, EUA - 1984 (Bender e Dean, 2003)

Nesta dragagem para alimentação de praia foram extraídos cerca de 4Mm^3 de sedimento a uma profundidade local de 4.6m e a uma distância de 800m da linha de costa. Metade do volume extraído foi posteriormente colocado na praia. A forma da escavação produzida tem a forma de um haltere em planta: nas duas extremidades a profundidade das escavações resultantes é de 6.1m, relativamente ao nível inicial do fundo, e no "canal" que as une, com 1370m de comprimento, é de 3.1m. Um ano após a extração e posterior a temporais que ocorreram no Inverno - Primavera de 84/85 - formaram-se duas zonas salientes na praia, flanqueadas por zonas onde ocorreu erosão, como se mostra na Figura IV-12. Levantamentos batimétricos realizados 1 - 2 anos após a extração revelaram que as extremidades da escavação tinham sido cheias até metade e que a parte central já não apresentava qualquer perturbação. Actualmente a escavação está completamente cheia mas com um sedimento mais fino do que aquele que foi extraído.

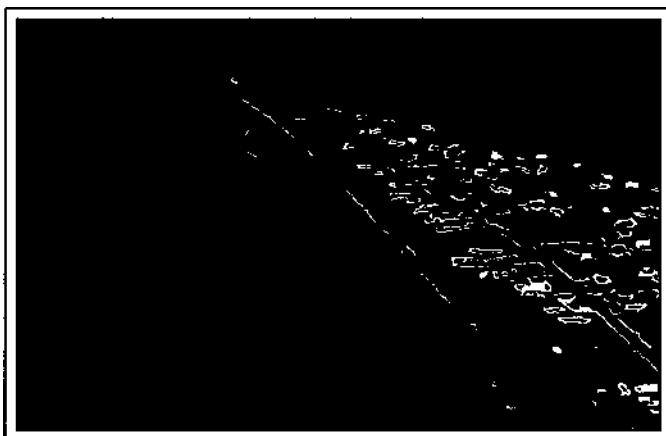


Figura IV-12 · Fotografia aérea de Grand Isle, Louisiana, EUA, Agosto 1985 (Bender e Dean, 2003).

As Figuras IV-13 e IV-14 apresentam imagens aéreas da região 14 e 20 anos após a escavação, respectivamente. Verifica-se que as saliências produzidas pela escavação estão ainda bem patentes (em 2004 só a localizada mais a Este do domínio). A origem destas saliências deve-se à modificação do campo de ondulação nas imediações da escavação e cujo efeito se repercute até à linha de costa. Pensa-se que a permanência destas perturbações mesmo após a escavação ter desaparecido, se deve à atenuação e dissipação de energia das ondas causadas pela presença de um sedimento extremamente fino que substituiu o sedimento original no local onde se fez a dragagem.



Figura IV-13 · Fotografia aérea de Grand Isle, Louisiana, EUA, 1998 (Bender e Dean, 2003).

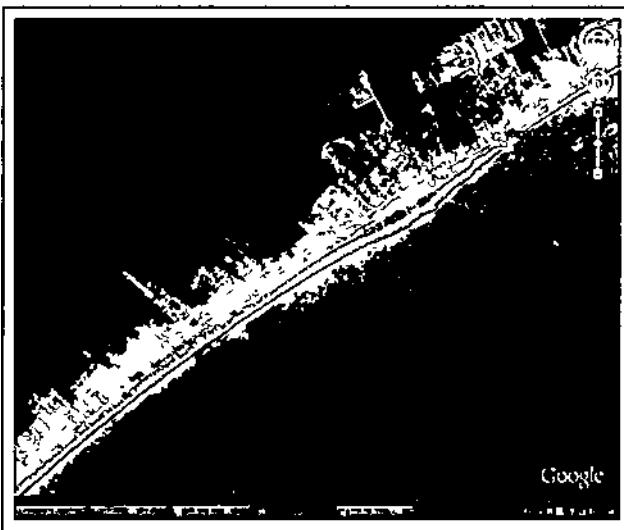


Figura IV-14 · Imagem aérea de Grand Isle, Louisiana, EUA, 2004 (Google Earth, 2009).

2.3.2. Tromper Wiek, Mar Báltico, Alemanha (*Kubicki et al., 2007*)

Kubicki et al. (2007) estudaram a evolução de uma escavação pontual de cascalho e de três escavações pontuais de areia fina, efectuadas na zona costeira do mar Báltico, por um período de 6 anos, entre 1999 e 2005, após as extracções terem terminado. Na Figura IV-15 estão indicadas as zonas onde se processaram as extracções. O escoamento neste local é sobretudo dominado pela acção das

ondas (altura significativa média 0.5m e período 3.12s; altura significativa máxima de 3.9m e período de 6.6s). Com base em imagens de sonar de varrimento lateral (confrontar Secção III-2.2.2) recolhidas entre 1999 e 2004, de eco sonda multifeixe realizados em 2003 e 2005 e de amostras locais do sedimento de fundo (*cores*) foram caracterizados o tempo de enchimento das escavações e a variação da sua forma.

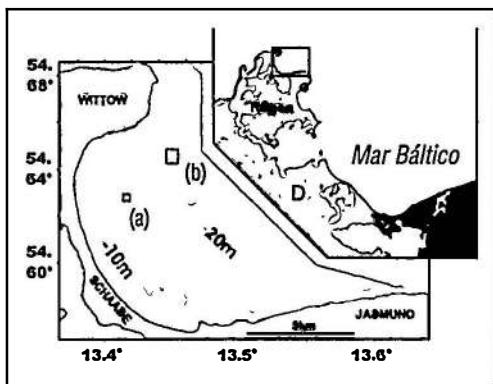


Figura IV-15 - Localização das extrações (a) de cascalho e (b) de areia no Mar Báltico (adaptado de Kubicki *et al.*, 2007).

A extração de cascalho foi realizada em 1999 a uma profundidade local de cerca de 12m. A escavação resultante tem uma forma de um cone com secção circular à superfície (com uma diâmetro inferior a 50m) e no fundo: os autores estimaram que a profundidade máxima de extração foi de 9.3m. As Figuras IV-16a), IV-16b) e IV-17 representam, respectivamente, a evolução da área ocupada pela escavação à superfície, os resultados dos levantamentos batimétricos e a taxa de enchimento da escavação.

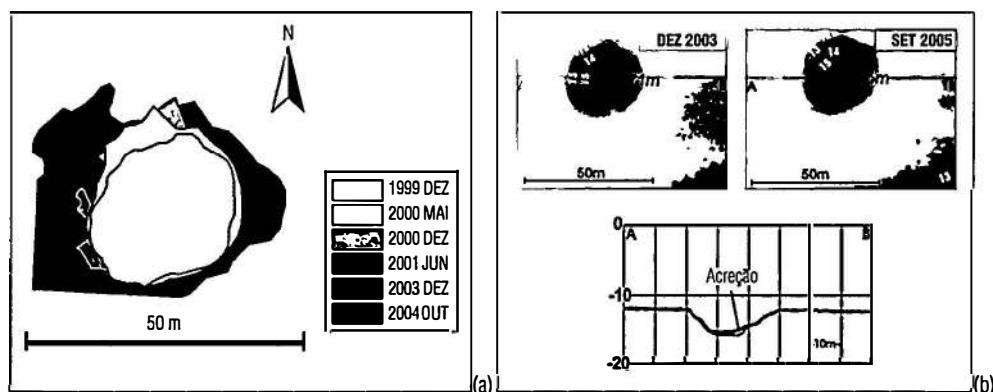


Figura IV-16 - (a) Evolução da área da escavação de cascalho à superfície e (b) levantamentos batimétricos da zona de extração referentes aos anos de 2003 e 2005 (adaptado de Kubicki *et al.*, 2007).

Os resultados obtidos mostram que:

- o perímetro do rebordo da escavação cresceu no tempo: a área inicial de 541.15m², em 1999, aumentou para 1282.68m², em 2004;
 - a escavação foi enchendo ao longo do tempo, sendo alimentada sobretudo da areia crivada durante o processo de extração e que foi rejeitada (d_{50} menor que 2mm);
 - a taxa de enchimento foi diminuindo ao longo do tempo o que provavelmente está relacionado com a depleção de sedimento mais fino nas zonas circundantes da escavação e com a própria geometria da escavação;
 - o processo de enchimento não é contínuo no tempo mas episódico e está relacionado com os eventos de tempestade;
 - a taxa de enchimento estimada com base nos levantamentos de 2003 e 2005 é de 1.2cm/mês.
- Desta forma, o tempo de regeneração da escavação excederá uma dezena de anos.

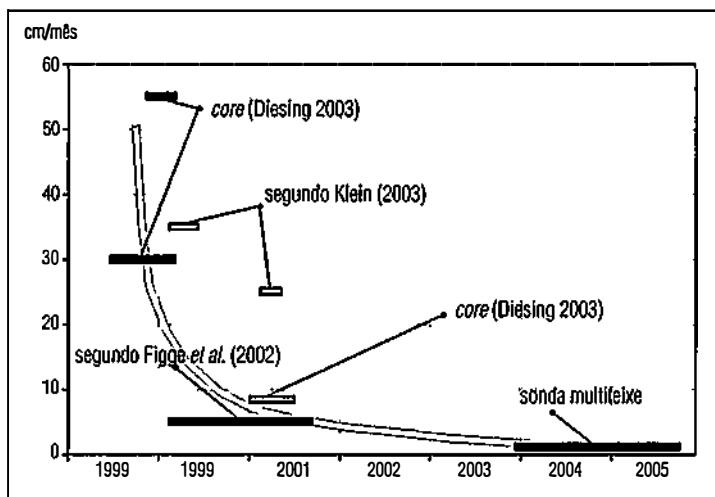


Figura IV-17 - Taxa de enchimento da escavação de cascalho (adaptado de Kubicki *et al.*, 2007).

As extrações de areia pontuais foram realizadas para profundidades superiores a 17m e antecedem o ano de 1999. A Figura IV-18 ilustra os levantamentos de sonda multifeixe efectuados em 2003 e 2005 estando assinaladas as três escavações referidas. Os resultados mostram que a escavação mais profunda encheu nesses dois anos cerca de 42cm, portanto a uma taxa de 2cm/mês. Portanto, para o mesmo período de monitorização, a taxa de enchimento é superior à que se observou para a escavação de cascalho, apesar de se encontrar a uma profundidade maior. Isto deve-se ao facto do sedimento que

se encontra nas vizinhanças das extrações de areia ter uma dimensão inferior (areia fina), e portanto é mobilizado em condições de agitação marítima de menor energia. Assim é provável que o tempo de regeneração seja inferior ao caso anterior.

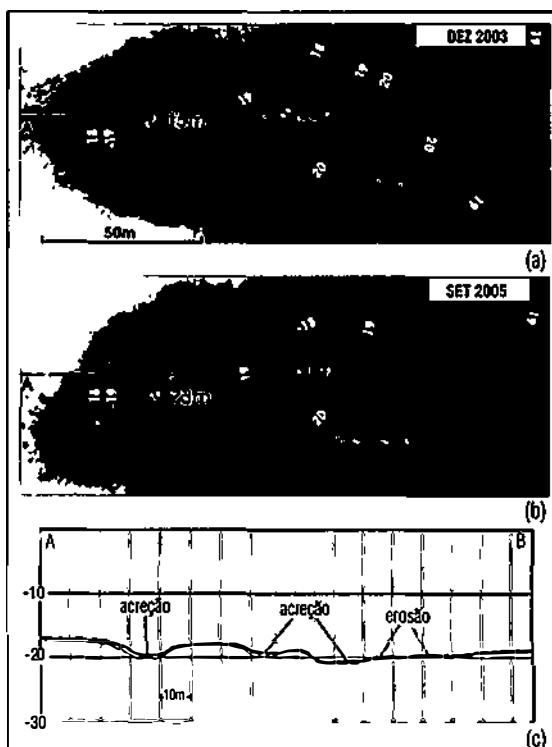


Figura IV-18 · Levantamentos batimétricos da zona de extração de areia referentes a (a) Dezembro de 2003 e (b) Setembro de 2005. (c) Perfil batimétrico AB referentes a 2003 e 2005, mostrando as zonas onde ocorreu erosão e acumulação de sedimento (adaptado de Kubicki *et al.*, 2007).

2.3.3. Tempos de Regeneração

Diesing *et al.* (2006) compararam os tempos de regeneração de diferentes extrações, em que se incluem as efectuadas em Tromper Wiek (TW0 de areia; TW1 de cascalho), outras realizadas no Mar Báltico em Graal-Muritz (GM1) e Wustrow (WU), a da praia de Pakiri na Nova Zelândia (PAK) e a efectuada na ilha de Sylt (WL) no Mar do Norte (estas duas últimas referidas na Tabela I-1). A Figura IV-19 representa a posição das extrações na zona da antepraea (*shoreface*) e o tempo de regeneração das mesmas. As setas na Figura IV-19b indicam que os tempos de regeneração são estimados, podendo ser superiores aos indicados, porque à data as escavações não estavam completamente cheias.

O limite entre a parte superior e inferior da antepraia é a profundidade de fecho, h_c . Para profundidades superiores a h_c e até ao limite da antepraia, h_p , observam-se variações da morfologia de fundo para escalas temporais superiores a um ano.

Os resultados mostram que o tempo de regeneração aumenta com a profundidade relativa h/h_p da extração. Note-se que as extrações GM1, WU, TW1 e WL (Figura IV-19) foram efectuadas em posições seme-lhantes, no limite da antepraia, $h/h_p \sim 1$, e os tempos de regeneração diferem consideravelmente. Esta diferença, indica que existem outros processos que contribuem para um enchimento mais rápido ou lento, nomeadamente a profundidade da extração, h_{pit} : as escavações menos profundas enchem mais rapidamente ($h_{pit} = 14-15\text{m}$ em WL; 10-12m em WU; 9-13m em TW1 e 8-10m GM1).

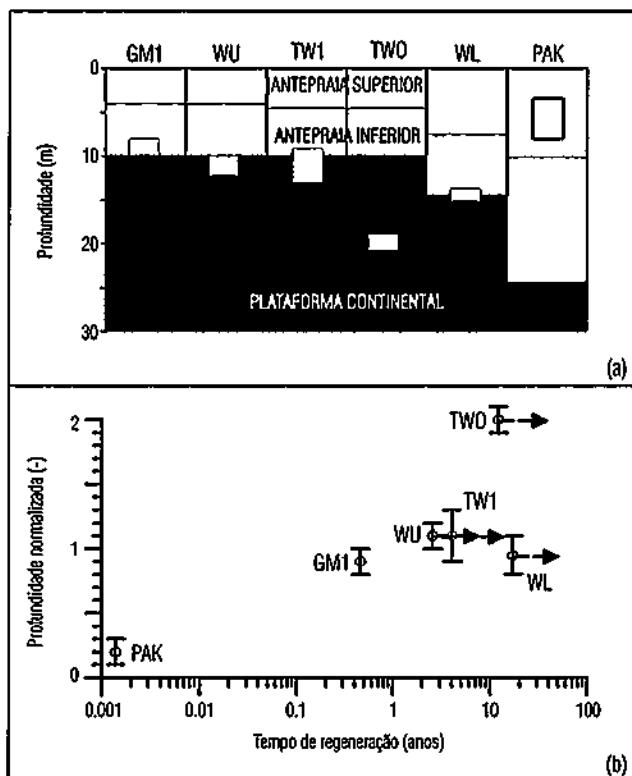


Figura IV-19 - (a) Localização das extrações relativas à antepraia e (b) tempo de regeneração das escavações em função de h/h_p (adaptado de Diesing *et al.*, 2006).

2.4. Modelos Numéricos de Simulação

O desenvolvimento de métodos computacionais para simulação da morfodinâmica constitui um tema de investigação importante para os estudos de impacto e na definição de estratégias de exploração de inertes na zona costeira do oceano.

Os modelos de morfodinâmica simulam a evolução da topografia de fundo em zonas costeiras sob a acção conjunta de ondas e correntes. Este tipo de modelos é geralmente constituído por diferentes módulos que descrevem a hidrodinâmica, calculam o transporte de sedimentos e actualizam a topografia de fundo, seguindo o esquema geral ilustrado na Figura IV-2. Roos (2004) e van Rijn *et al.* (2005) apresentam uma breve descrição de modelos morfodinâmicos existentes na literatura.

No presente trabalho são apresentados alguns resultados da aplicação do sistema de modelos de morfodinâmica MORSYS2D à evolução de escavações. Este sistema computacional foi desenvolvido no LNEC (Fortunato e Oliveira, 2004; Bertin *et al.*, 2009) e tem sido aplicado na Universidade de Aveiro no âmbito de diferentes projectos de investigação que abordam esta temática, nomeadamente, o projecto SANDPIT (Ramos *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2006) e o projecto SANDEX (Lopes *et al.*, 2009).

2.4.1. Aplicação no Âmbito do Projecto SANDPIT

No âmbito do projecto europeu SANDPIT foram aplicados diferentes modelos de morfodinâmica para simular a evolução de uma escavação resultante de uma extracção conceptual de inertes na zona costeira (van Rijn *et al.*, 2005).

As condições físicas da extracção são semelhantes ao caso PUTMOR (ver Tabela IV-1): na configuração de base (simulação de referência), a escavação tem dimensões 1300m x 500m x 10m e foi efectuada a uma profundidade, h_o , de 10m. O diâmetro mediano do sedimento de fundo é $d_{50}=0.22\text{mm}$. O volume do dragado é de 3.5Mm^3 . A batimetria inicial está representada na Figura IV-20. A velocidade das correntes de maré e as condições de agitação marítima são representativas da zona costeira onde foi efectuada essa extracção. O escoamento associado à propagação da onda de maré é paralelo à costa (a componente transversal é nula) e é assimétrico: tem um valor máximo de cerca de 0.5m/s para a enchente e 0.8m/s para a vazante (valores representativos para uma profundidade de 13.5m). Foi especificado um clima de agitação marítimo representativo constituído por 7 ondas. Os detalhes da configuração numérica podem ser encontrados em van Rijn *et al.* (2005).

De forma a definir as condições óptimas de extracção foram considerados diferentes cenários de teste contemplando diferentes distâncias do local da exploração à costa, da dimensão do diâmetro do grão de sedimento, entre outros (van Rijn *et al.*, 2005). A Figura IV-21 ilustra a posição da escavação considerada nos diferentes testes.

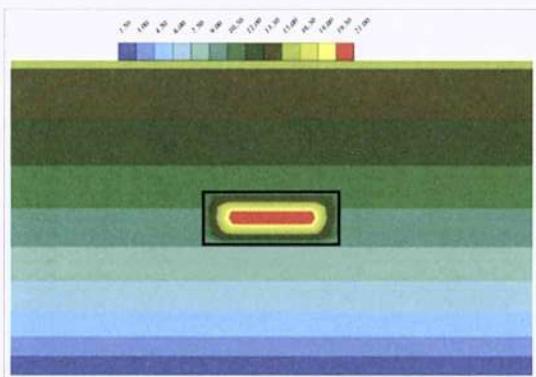


Figura IV-20 - Batimetria inicial na região de estudo.

BL refere-se à simulação de referência. Os testes *E* referem-se a uma variação da dimensão da granulometria do sedimento de fundo relativamente à simulação de referência (*BL*): $d_{50}=0.33$ e 0.11mm , respectivamente, para os testes *E1* e *E2*. Em *A1*, *A2* e *A3* considerou-se que a dragagem foi efectuada a diferentes distâncias da costa sob o mesmo perfil de fundo e em *D1* e *D2* à mesma profundidade mas sob perfis de fundo com declives diferentes. Os resultados obtidos com diferentes modelos numéricos foram comparados entre si permitindo avaliar a influência das diferentes escavações conceptuais nos campos hidrodinâmicos e no tempo de regeneração das mesmas. As Figuras IV-22 e IV-23 ilustram alguns dos resultados numéricos obtidos com o modelo MORSYS2D.

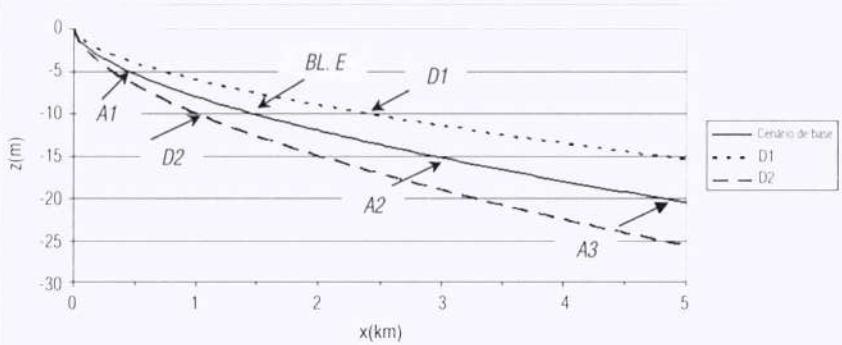


Figura IV-21 - Posição da escavação considerada nos testes (indicada pelas setas).

Para a simulação de referência (Figura IV-22) verifica-se que os valores da taxa de transporte residuais (num ciclo de maré) diminuem no interior da escavação, potenciando assim a deposição de sedimentos, e aumentam nos flancos da escavação, conforme descrito na Secção IV-2.2. A Figura IV-23

mostra que a escavação migrou no sentido da maior amplitude da corrente de maré e que as maiores variações da morfologia do fundo se observam para o sedimento mais fino.

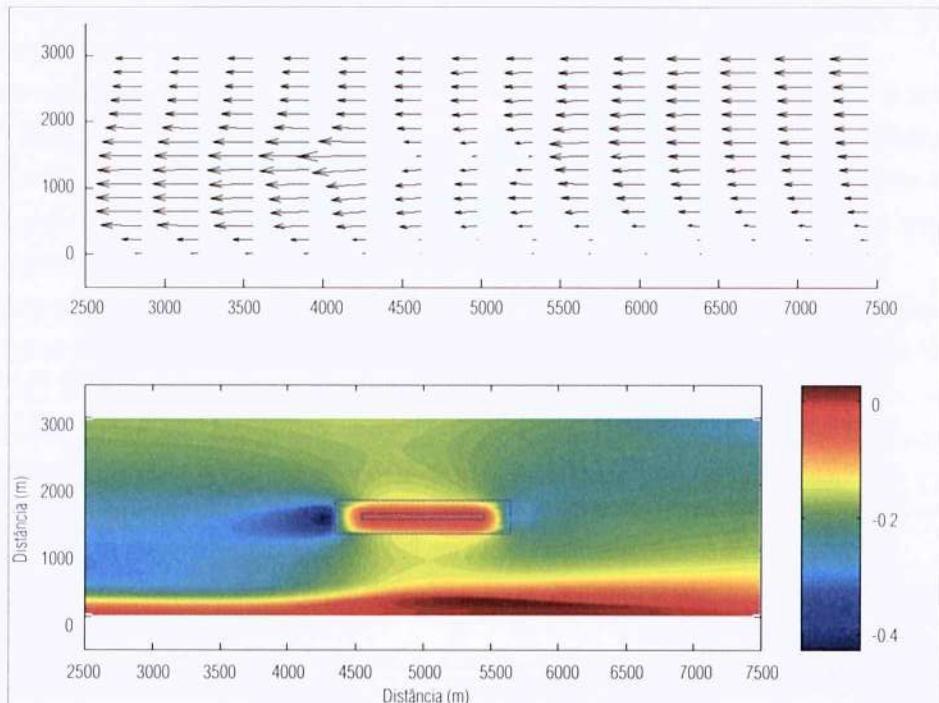


Figura IV-22 - Taxas de transporte de sedimentos ($\text{m}^3/\text{maré}$) calculados para a simulação de referência (BL).

Com base nas soluções numéricas da evolução da batimetria foram estimadas as taxas de enchimento da escavação. Para tal considerou-se que o volume da escavação, V , tem uma diminuição exponencial ao longo do tempo dada por:

$$V = V_0 e^{-t/\tau} \quad (\text{IV-1})$$

sendo τ a escala de decaimento exponencial e V_0 o volume inicial. Os valores de τ foram estimados a partir das simulações efectuadas e os resultados comparados entre os diferentes modelos e diferentes testes considerados. Os resultados obtidos sugerem que (Chesher *et al.*, 2005; Ramos *et al.*, 2005):

- a escala de tempo τ é cerca de 5-30 anos para a simulação de referência ($h_0 = 10\text{m}$) e aumenta à medida que a distância da extração à costa aumenta;
- o valor de τ aumenta de um factor 5 se o volume da escavação aumentasse de 3.5 para 28 Mm^3 (factor de 8);

- o aumento do valor da dimensão do diâmetro do sedimento de fundo no local da escavação aumenta o valor de τ ;
- a taxa de migração da escavação na direcção paralela à costa está compreendida entre 10-100m/ano.

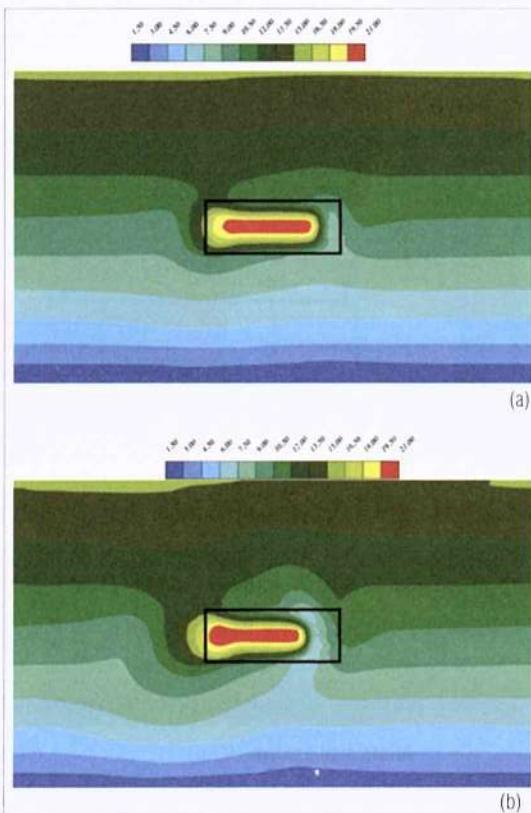


Figura IV-23 - Batimetria da região de estudo calculada ao fim de 240 dias para (a) a simulação de referência (*BL*) e (b) para o teste *E2*.

2.4.2. Aplicação no Âmbito do Projecto SANDEX

A extracção de areia efectuada em Vale do Lobo no ano de 2006 para alimentação da praia (ver Capítulo V-3) constitui um caso de estudo no âmbito do projecto SANDEX, concluído em 2011. Nesta comunicação são apresentados alguns resultados da aplicação do modelo MORSYS2D para avaliar o impacto da escavação sobre a hidrodinâmica e resultados da evolução da batimetria de fundo.

Na Figura IV-24 representa-se os contornos batimétricos da zona costeira ao largo de Quarteira e em detalhe a configuração da escavação efectuada.

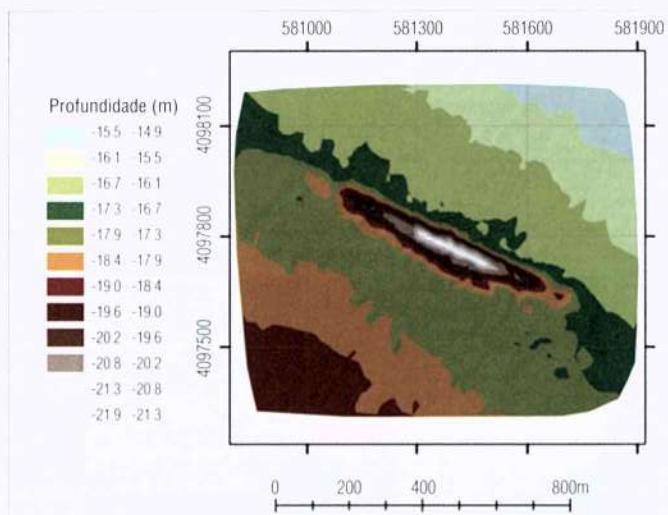


Figura IV-24 - Contornos batimétricos da região em estudo em Vale do Lobo.

Para estimar o impacto da escavação sobre a hidrodinâmica foram efectuadas simulações com o modelo considerando forçamentos simplificados: as correntes de maré foram simuladas mas não se considerou a acção do vento, ainda que importante nesta região, e consideraram-se 4 condições da ondulação, duas relativas a condições mais frequentes e duas correspondentes a um regime de temporal, conforme Tabela IV-2.

Tabela IV-2 - Condições da agitação marítima consideradas nas simulações numéricas (Lopes *et al.*, 2009).

Direcção	Altura significativa, H_s (m)	Período, T (s)
WSW	6	16
SE	5	15
WSW	1	7
SE	1	7

Pretendeu-se, em concreto, dar resposta as seguintes questões:

- Qual é a variação da intensidade máxima da velocidade de corrente da maré, da altura da onda e das velocidades orbitais junto ao fundo devida à presença da escavação?
- Qual é a área de influência da escavação?

Para tal, foi calculada a variação relativa (com e sem escavação) dos valores máximos da intensidade

da corrente de maré e das velocidades orbitais para todo o domínio de cálculo. Os valores da variação relativa foram calculados a partir da Equação IV-2.

$$X(\%) = \frac{X_{c/esc} - X_{s/esc}}{X_{s/esc}} \times 100 \quad (\text{IV-2})$$

Alguns dos resultados obtidos em condições de maré viva estão representados na Figura IV-25.

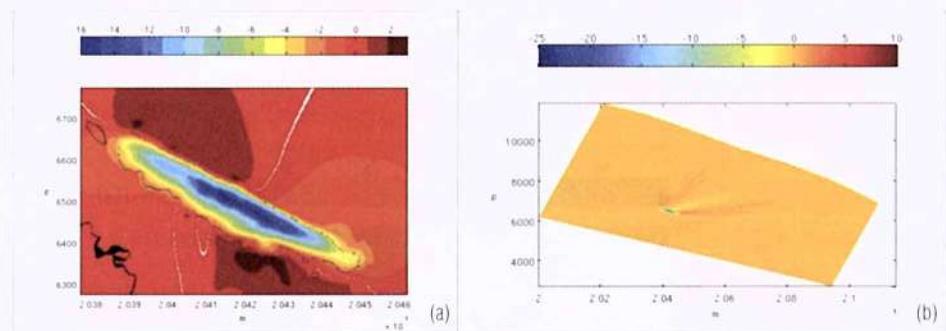


Figura IV-25 Distribuição da variação relativa (a) da velocidade da corrente de maré e (b) da velocidade orbital (altura significativa da onda, $H_s = 1\text{m}$; período, $T = 7\text{s}$ e rumo WSW; Lopes *et al.*, 2009)

Os resultados mostram que os valores máximos da intensidade da corrente de maré decrescem no interior da escavação em cerca de 20%, face à situação em que não existia escavação. Em alguns locais próximos da escavação a variação relativa da intensidade da velocidade é no máximo de 3% e positiva, o que indica que a influência da escavação, no que diz respeito às correntes de maré, é muito localizada.

Relativamente à distribuição das velocidades orbitais, a diminuição da profundidade na zona da escavação modifica a distribuição das velocidades orbitais, diminuindo a sua magnitude no interior da escavação, aproximadamente cerca de 25% para a condição de ondulação representada (valores semelhantes são obtidos para as outras condições indicadas na Tabela IV-2). Na direcção de propagação da ondulação após a escavação, identificam-se áreas onde há um aumento e outras onde há uma diminuição das velocidades orbitais. A dimensão, localização e intensidade destas variações dependem das características da ondulação. Verificou-se também que, para o caso das condições mais extremas de ondulação, as variações da velocidade orbital nunca excederam os 2% fora da escavação e nunca se fazem sentir para profundidades inferiores a 4m.

O decréscimo da velocidade da corrente de maré e da velocidade orbital no interior da escavação

indicam uma menor capacidade do escoamento em mobilizar e transportar sedimentos, e sendo assim, a escavação tenderá a encher-se ao longo do tempo. No entanto, dada a pequena amplitude da velocidade da corrente de maré e da velocidade orbital associadas às condições de ondulação médias, os transportes residuais serão igualmente baixos e serão esperadas baixas taxas de enchimento.

A Figura IV-26 representa as diferenças das cotas do leito de fundo no local da escavação calculadas após um período de 2.5 anos e considerando regimes de vento e de ondulação reais (Rosa *et al.*, 2011). Verifica-se, que as zonas onde ocorreu erosão (valores negativos) situam-se nas proximidades dos bordos da escavação e a areia transportada deposita-se no interior da escavação. Com base nestes resultados e na Equação IV-1 a escala de tempo de enchimento foi estimada em cerca de 24 anos.

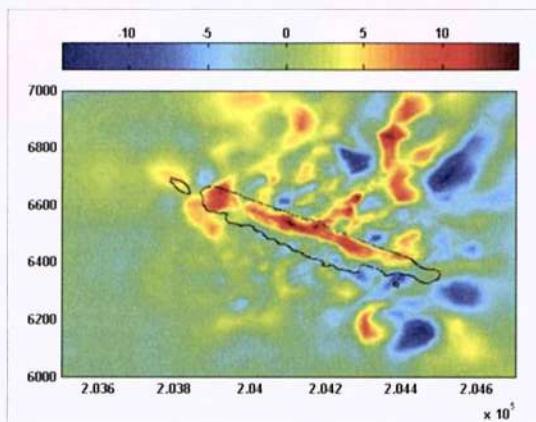


Figura IV-26 - Variação relativa da batimetria (%) após 2.5 anos de simulação, entre Maio de 2006 e Novembro de 2008 (valores negativos correspondem a erosão e valores positivos a deposição).

2.5. Conclusões

A extracção de inertes da plataforma continental e da antepraia (*shoreface*) geram escavações que têm impacto nos campos hidrodinâmicos e no balanço sedimentar costeiro. A persistência desses impactos ao longo do tempo é determinada pelo tempo de regeneração da escavação. As extracções realizadas na parte superior da antepraia têm tempos regeneração pequenos (meses). Contudo, como funcionam como um sumidoiro de sedimentos das zonas adjacentes podem contribuir para o recuo da linha de costa. Um dos exemplos referidos, é a extracção efectuada na praia de Pakiri na Nova Zelândia. As extracções efectuadas a maiores profundidades, na parte inferior da antepraia e na plataforma, têm tempos de regeneração maiores, da ordem de anos, décadas ou ainda superiores. O custo associado a estas extracções é também maior. Também estas escavações podem causar perturbações

na linha de costa, através da modificação do campo de agitação marítima, como é o exemplo de Grand Isle nos EUA. Existem outros factores, como por exemplo, o volume do sedimento extraído, a geometria da escavação, a dimensão do diâmetro do sedimento e as condições hidrodinâmicas existentes no local que determinam esta análise.

O recurso a modelos numéricos de simulação de morfodinâmica permitem estabelecer as configurações da extracção mais vantajosas em termos de impacto/custos. A variabilidade dos resultados numéricos observada quando diferentes modelos são aplicados ao mesmo caso de teste (van Rijn *et al.*, 2005) indica a necessidade de um estudo de calibração.

2.6. Agradecimentos

Parte dos resultados apresentados foram obtidos no âmbito dos projectos de investigação: SANDPIT (EVK3-2001-00053) e SANDEX (POCI/ECM/70428/2006). Agradece-se ao Doutor Francisco Sancho (LNEC) e aos bolseiros dos projectos, Dra. Mariana Ramos, Dr. Vitor Lopes e João Rosa a colaboração prestada.

Agradece-se à Doutora Anabela Oliveira, Doutor André B. Fortunato e Doutor Xavier Bertin do LNEC, o apoio e disponibilidade prestados com o modelo MORSYS2D.

Os dados relativos a Vale do Lobo foram gentilmente cedidos pelo Doutor Sebastião Braz Teixeira e Dr. Marcos Rosa (ARH Algarve).

Casos de estudo e aplicação dos dragados

CAPITULO V



Rui Quartau^a
Luis Menezes Pinheiro^b
Francisco C. Teixeira^b
J. Hipólito Monteiro^a

a. Unidade de Geologia Marinha, LNEG

_____ b. Departamento de Geociências e CESAM, Universidade de Aveiro

1. Prospecção de Agregados nas Plataformas Insulares dos Açores - O Exemplo da Ilha do Faial

1.1. Introdução

Nos Açores, a exploração de agregados (areias e cascalhos) no mar, tem crescido significativamente nos últimos anos, uma vez que este recurso é escasso na parte emersa das ilhas. Esta actividade extractiva ocorreu até ao final da década de 90, de um modo geral, em quase todas as ilhas, sem estudos geológicos prévios. Neste contexto, em 2001, a Unidade de Geologia Marinha do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. (LNEG) foi convidada pelo Departamento de Oceanografia e Pescas da Universidade dos Açores para, conjuntamente, responderem a uma solicitação da Direcção Regional do Ordenamento do Território e Recursos Hídricos da Secretaria Regional do Ambiente dos Açores, de forma a fazerem a avaliação deste importante recurso geológico para a região. Desta colaboração surgiu o projecto GEMAS (Avaliação, Gestão e Monitorização de Areias Submersas do Faial, Pico e São Miguel - Quartau *et al.*, 2002; 2003a; 2003b; 2005a; 2005b), com o objectivo de iniciar a cartografia dos agregados marinhos nas plataformas insulares dos Açores. Apresenta-se neste trabalho a metodologia utilizada para avaliar os agregados na plataforma do Faial, que incluiu o levantamento hidrográfico, a aquisição de perfis de sísmica de reflexão de alta resolução e a amostragem de sedimentos, assim como o processamento e a interpretação integrada deste conjunto de dados.

1.2. Dados e Métodos

A campanha FAPI-1 do projecto GEMAS realizou-se de 12 Julho a 3 de Agosto de 2001 e consistiu na aquisição de perfis de reflexão sísmica de alta resolução, utilizando um sistema Sonar *Chirp*, modelo

Datasonics CAP-6000W, a operar em frequência modulada (1.5 a 10kHz), e um sistema *Boomer*, modelo *Uniboom EG&G*, com uma potência de 200J, a operar numa gama de frequências de 500-10000Hz, com um *streamer* monocanal de hidrofones com uma resposta em frequência entre os 500 e os 3000Hz (Teixeira, 2001; para mais informação sobre sistemas sísmicos de alta resolução, ver Capítulo III-2). Os perfis de reflexão sísmica foram adquiridos segundo uma malha regular, com linhas paralelas e perpendiculares à linha de costa, entre esta e aproximadamente a batimétrica dos 100m de profundidade (Figura V-1). Os perfis obtidos totalizaram aproximadamente 500km (224km com *Boomer* e 276km com *Chirp*), e foram adquiridos simultaneamente com um levantamento batimétrico de feixe simples. Durante a aquisição o posicionamento foi determinado através de um sistema GPS em modo absoluto.

A campanha FAPI-3 do projecto GEMAS realizou-se entre 26 de Novembro e 3 de Dezembro de 2003 e consistiu na amostragem de sedimentos na plataforma com um colhedor rectangular do tipo *box-corer*. Foram obtidas 35 amostras de sedimentos (Figura V-1).

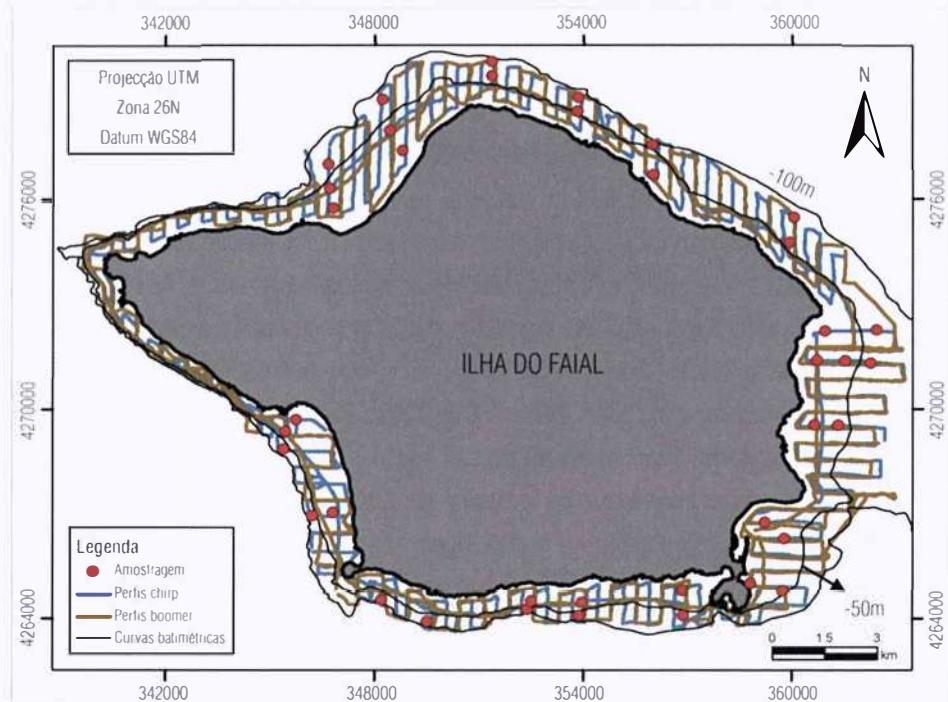


Figura V-1 . Trajectória do levantamento de sismica de reflexão efectuado com os sistemas *Boomer* e *Chirp* e localização da amostragem de sedimentos. A batimetria está representada pelas linhas a preto (a seta indica a batimetria dos 50m)

1.3. Processamento dos Dados

Os dados de navegação foram processados de forma a corrigir os vários tipos de erros introduzidos no posicionamento, nomeadamente no desfasamento entre a antena de GPS e os vários sensores utilizados (*Chirp*, *Boomer* e sonda de feixe simples). Estima-se que o erro médio de posicionamento obtido dos traços sísmicos e nas sondas de feixe simples é de 8 metros.

Os ficheiros SEGY dos dados de *Boomer* foram processados no software *SPW* (*Seismic Parallel Workshop*, da *Parallel Geoscience Corporation*) para melhorar a razão sinal/ruído, fazer as correcções de geometria e efectuar filtragens e ajustes de ganhos (Pinto et al., 2006). O registo resultante do processamento tem uma gama de frequências entre 500 e 1200Hz e uma resolução vertical inferior a 1m. Durante a aquisição dos perfis *Boomer* foi introduzido algum ruído eléctrico pelos geradores de energia na gravação dos dados, o que teve como consequência uma baixa relação sinal/ruído, resultando em perfis sísmicos de baixa qualidade na algumas áreas da plataforma, o que dificultou a interpretação.

Os dados resultantes da sonda de feixe simples foram processados de forma a eliminar artefactos na determinação da profundidade assim como erros na determinação do posicionamento horizontal. A partir destes dados foi criado um modelo digital de terreno da plataforma insular do Faial, primeiro criando uma Rede Irregular de Triângulos usando como vértices as sondas e depois convertendo essa rede para um ficheiro matricial com uma resolução de 100m. Para colmatar algumas falhas de dados na plataforma usaram-se dados multifeixe da Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental cedidos para o efeito (EMEPC, 2008), que também se converteram para um ficheiro matricial com 100m de resolução, o que resultou na compilação batimétrica que se apresenta na Figura V-2.

A análise textural dos sedimentos utilizou uma técnica de peneiração a seco para o material mais grosso do que 2mm e um contador *Coulter LS-230* para material inferior a 2mm. Ambos os conjuntos de dados foram fundidos para produzir distribuições granulométricas completas. O carbonato de cálcio dos sedimentos foi determinado por um método modificado de digestão, a bomba de carbonato (Müller & Heidelberg, 1971, modificado por L. Gaspar, DGM). Os resultados mostraram que os sedimentos são compostos principalmente por areia vulcanoclástica de dimensão média a muito grosseira, chegando por vezes à dimensão do cascalho, com percentagens de finos (siltes e argilas) inferiores a 1% e com percentagens variáveis de partículas bioclásticas de carbonato de cálcio (1 a 22%, média 7%).

1.4. Interpretação dos Dados

A compilação batimétrica foi usada para definir a área de estudo, a plataforma insular do Faial. Tal

como as margens continentais, também as ilhas têm uma plataforma, isto é, uma zona relativamente plana que se estende desde a linha de costa até aos 100-200m de profundidade. Esta área mais plana é a zona preferencial de acumulação dos sedimentos que a maiores profundidades dá lugar a uma zona bastante mais inclinada, o talude. A zona de transição entre a plataforma e o talude chama-se *bordo da plataforma* (linha a preto na Figura V-2) e foi definida como a zona a partir da qual se verifica um aumento acentuado do declive, passando de 2° a 3° na plataforma para valores de 11° no talude (Quartau *et al.*, 2010).

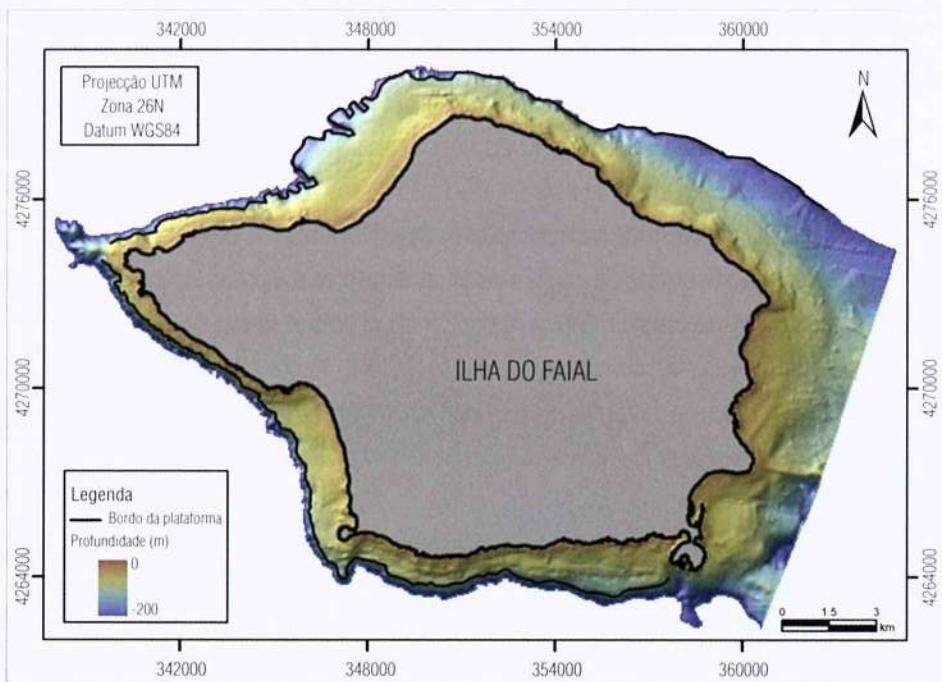


Figura V-2 - Compilação batimétrica das sondas recolhidas durante a campanha FAPI-1 e dos dados de multifeixe recolhidos pela EMEPC no bordo da plataforma e talude.

Uma vez definida a zona de interesse para prospecção, foram interpretados os perfis sísmicos para cartografar a distribuição dos agregados. Numa primeira abordagem tentou-se distinguir os fundos rochosos das manchas de sedimentos com eventual interesse para exploração. Uma vez que não existiam registos de sonar de varrimento lateral (ver Secção III-2.2.2) que permitissem mais facilmente cartografar a natureza do fundo, recorreu-se ao carácter do eco do fundo do mar registado nos perfis *Chirp* para distinguir os diferentes tipos de fundo.

Quando as ondas sísmicas se propagam, sofrem atenuação, reflexão e refracção na coluna de água, no fundo do mar e nas camadas subjacentes. O sinal que é reflectido no fundo do mar e nas interfaces entre as camadas subjacentes, volta à superfície e é registado na forma de um ecograma, ou perfil sísmico, cujo aspecto depende da natureza e forma do fundo, assim como do tipo de sedimentos ou formações rochosas do fundo. Damuth (1980) e Pratson e Laine (1989) propuseram uma classificação que utiliza o carácter acústico do fundo do mar registado pelos sistemas de alta-frequência, tal como o *Chirp*, para obter correlações entre certo tipo de ecos e a natureza do fundo. Baseado nos trabalhos destes autores, Quartau (2007) distinguiu vários tipos de fundo com base nos diferentes tipos de ecos recebidos. Aqui apresentam-se apenas três dos diferentes tipos de ecos definidos por Quartau (2007), pois para o objectivo do presente trabalho não foi necessária a análise dos restantes (Figura V-3):

- Tipo I - Eco nítido, contínuo, sem reflexões abaixo do fundo ou com reflexões muito difusas e sem continuidade lateral. Este tipo de eco aparece normalmente na plataforma a partir dos 30-50m de profundidade e estende-se até ao bordo da plataforma. É limitado em direcção a terra pelo tipo de eco II-A, e corresponde a uma superfície topográfica quase plana ou levemente inclinada perto deste eco, passando ao largo para uma forma convexa e com maior declive chegando ao bordo da plataforma, com declives de 11º. Mais raramente, este tipo de eco ocorre junto à costa e quando isso acontece, normalmente, abrange toda a plataforma (Figura V-4).
- Tipo II-A - Este tipo de eco prolonga-se abaixo do fundo de forma difusa e sem reflexões. É constituído por hipérboles muito apertadas, sobrepostas, cujos vértices têm uma pequena variação vertical. As hipérboles individuais são geralmente inferiores a 3m na vertical e o comprimento de onda é da ordem de 1-2m. Este tipo de eco aparece normalmente na plataforma entre a linha de costa e os 30-50m de profundidade (Figura V-4).
- Tipo II-B - Este tipo é semelhante ao eco do tipo II-A, mas é constituído por hipérboles mais irregulares, sem sobreposição e com maiores variações verticais. Cada hipérbole individual é geralmente inferior a 10m na vertical e o comprimento de onda é da ordem de 50m. Este tipo de eco aparece normalmente perto da linha de costa, podendo nalguns casos estender-se até aos 30-50m de profundidade (Figura V-4).

Segundo Damuth e Hayes (1977), quando o fundo do mar é coberto por sedimentos grosseiros, tais como areias ou cascalhos, o eco é nítido e sem reflexões abaixo do fundo. Isto deve-se ao facto de estes sedimentos serem muito bons reflectores da energia sísmica e, consequentemente, pouco ou nenhuma energia conseguir atingir as interfaces sedimentares abaixo do fundo. A análise granulomé-

trica dos sedimentos colhidos em fundos com este tipo de carácter nos perfis *Chirp* confirmou que a maioria das amostras são realmente areias de dimensão média a muito grosseira.

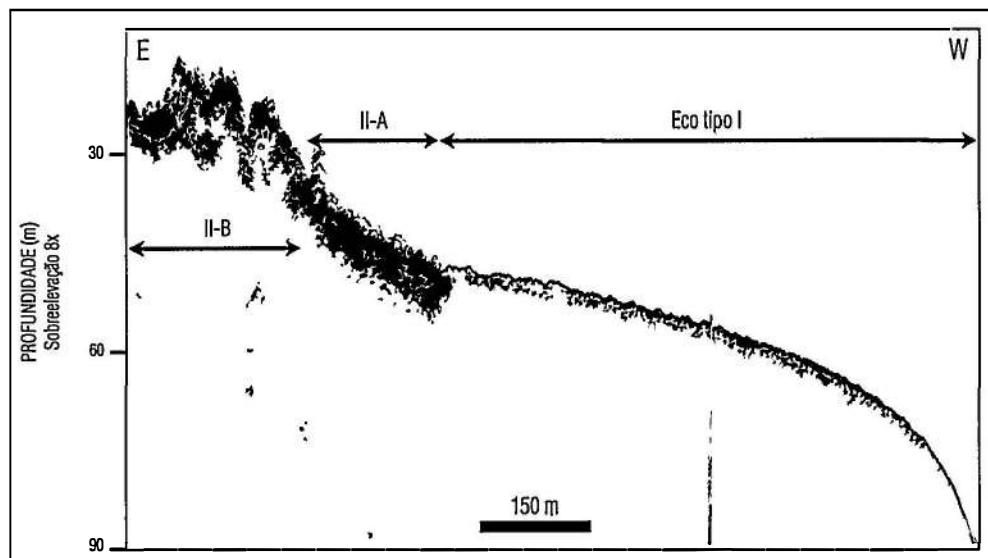


Figura V-3 · Tipos de eco definidos nos perfis sísmicos do sistema *Chirp*. Ver localização do perfil na Figura V-4 e discussão no texto.

Os ecos hiperbólicos são causados por fundos rochosos, presença de blocos, ou por ondulações no fundo do mar (Damuth, 1980). A presença de hipérboles individuais ou sobrepostas e irregulares com variações verticais variáveis sugere a presença de afloramentos rochosos com uma topografia acidentada. A existência de ecos constituídos por hipérboles pequenas e muito sobrepostas sugere a presença de fundos constituídos por blocos, alguns de dimensões métricas. Os ecos constituídos por hipérboles isoladas, mais irregulares e com maiores variações verticais foram interpretados como a presença de escoadas lávicas submarinas no fundo. Imagens de vídeo feitas com um ROV (Tempera, 2008) confirmaram mais tarde as interpretações feitas por Quartau (2007) dos três diferentes tipos de ecos.

A cartografia da distribuição dos diferentes tipos de eco permitiu elaborar um mapa da natureza do fundo na plataforma do Faial. Como para o caso de estudo interessava separar os fundos rochosos dos fundos sedimentares da dimensão da areia e cascalho, os ecos do tipo II-A e II-B foram incluídos no mesmo tipo de fundo, o de afloramentos rochosos (Figura V-4). Nas zonas onde o fundo do mar foi considerado sedimentar, os perfis sísmicos *Boomer* foram utilizados para definir a sequência deposicional mais recente (e em princípio pouco consolidada) segundo os métodos clássicos da estratigrafia sísmica (Mitchum Jr. et al., 1977) e para estimar a sua espessura (Figura V-6). Foi essencialmente identificada uma unidade sísmica principal e os seus limites digitalizados em horizontes, utilizando

para o efeito as ferramentas de interpretação do software *SeisWorks2D* da *Landmark*. Esta unidade sísmica (Figura V-5) é limitada no topo pela reflexão do fundo do mar e na base por uma superfície caracterizada por uma reflexão com alta reflectividade e amplitude, muito contínua e regular. Esta unidade tem uma forma sigmoidal, apresentando as maiores espessuras na plataforma a profundidades intermédias, entre os 40 e os 60 metros de profundidade. Em direcção a terra esta unidade diminui de espessura indo normalmente de encontro a afloramentos rochosos, onde termina. Em direcção ao mar, a unidade também diminui de espessura, acabando por desaparecer no bordo da plataforma. Os reflectores dispõem-se em *onlap* em direcção a terra (*onlap* costeiro) e em *downlap* em direcção ao mar (Figura V-5).

Utilizou-se uma velocidade aproximada de 1800 metros por segundo para a propagação do som nos sedimentos não consolidados, para converter a espessura da unidade sísmica em metros. Este valor da propagação do som foi baseado nos trabalhos de Hamilton e Bachman (1982) que encontraram velocidades do som de cerca de 1700m/s para areias muito finas e 1800m/s para areias grosseiras das plataformas e taludes nas principais bacias oceânicas. Uma vez que os sedimentos colhidos na plataforma do Faial (Quartau, 2007; Quartau *et al.*, 2005b) revelaram sempre a existência de sedimentos grosseiros (areias médias a cascalhos), considerou-se que uma velocidade média de 1800m/s seria um valor realista.

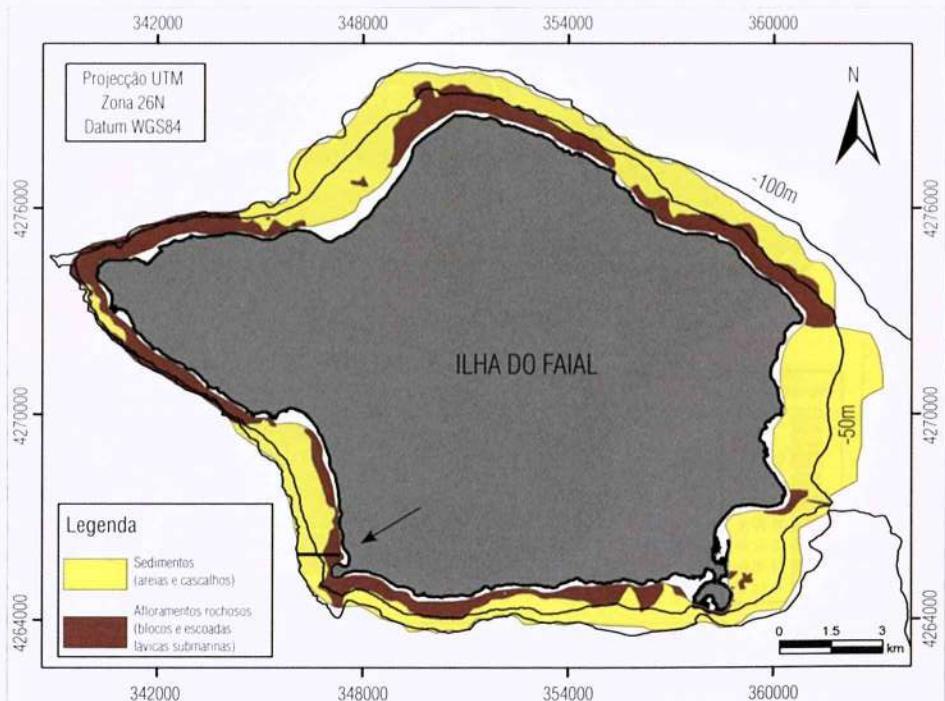


Figura V-4 - Mapa dos dois tipos de fundo definidos, sedimentares e rochosos. A seta assinala a localização do perfil sísmico Chirp da Figura V-3. A batimetria está representada pelas linhas a preto.

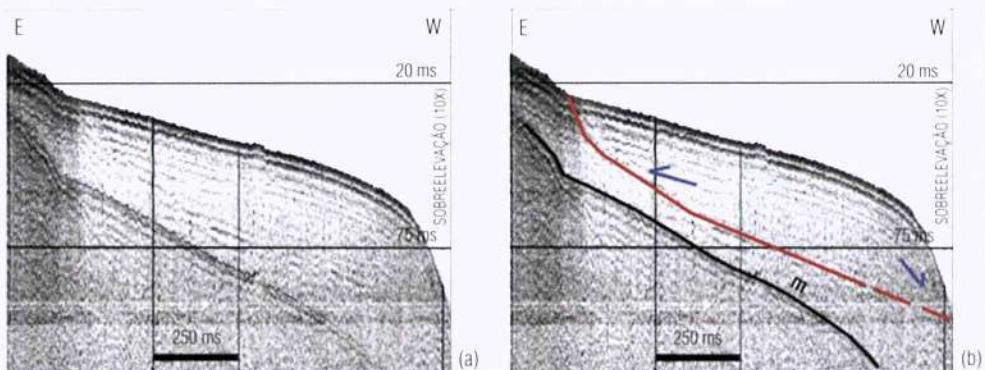


Figura V-5 - Perfil sismico que mostra a unidade sismica definida. (a) Perfil sismico não interpretado. (b) Perfil sismico interpretado. A linha a vermelho representa a base da unidade definida e a linha preta o múltiplo do fundo do mar. As setas azuis representam as terminações dos reflectores (*onlap* na seta da esquerda e *downlap* na da direita). Ver localização do perfil na Figura V-6.

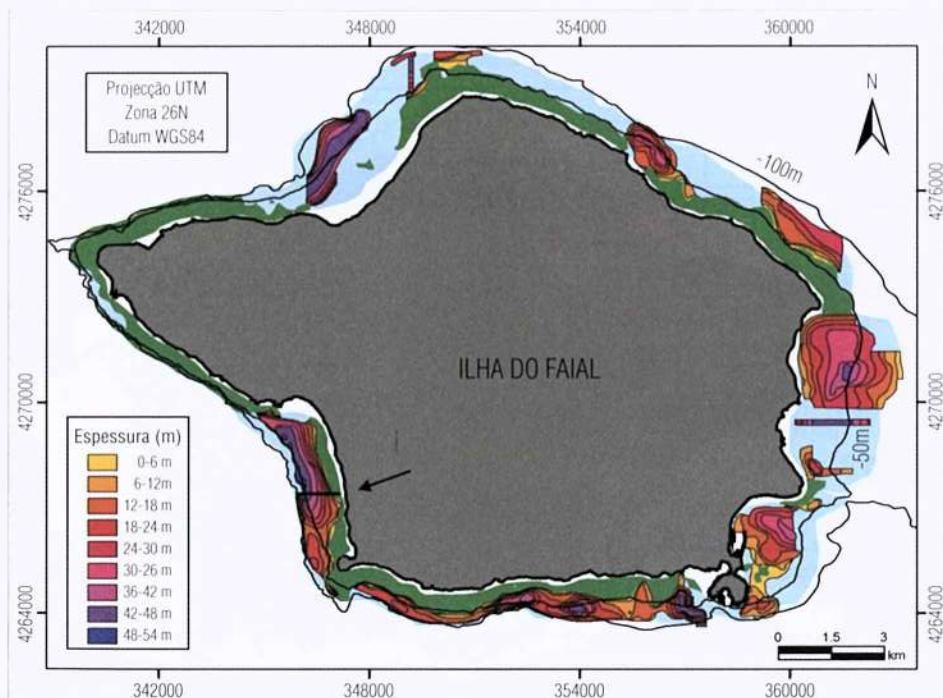


Figura V-6 - Mapa de espessuras da unidade sismica (em metros). O azul claro está representado o fundo sedimentar onde não foi possível determinar a espessura da unidade sismica. O verde está representado o fundo rochoso. A seta assinala a localização do perfil sismico *Boomer* da Figura V-5. A batimetria está representada pelas linhas a preto.

1.5. Resultados

O resultado da interpretação dos perfis de *Boomer* permitiu realizar mapas de espessura de sedimentos e deste modo cartografar a distribuição geográfica das ocorrências de agregados na plataforma do Faial (Figura VI-5). Nas zonas onde a qualidade dos perfis *Boomer* é pior não foi possível seguir a reflexão que constitui a base da unidade sísmica apesar de se saber que esta unidade tem expressão em termos de espessura. Assim, essas áreas foram definidas como sedimentares mas com valor desconhecido da espessura.

1.6. Cálculo de Volumes

Visto o conhecimento existente sobre a dinâmica sedimentar litoral e da plataforma do Faial ser ainda deficiente é importante definir uma profundidade superior de exploração para que a extracção não seja feita em áreas que contribuam para o fortalecimento das zonas costeiras ou que estejam implicadas na dinâmica sedimentar das praias. Uma forma expedita de calcular uma profundidade superior de exploração segura é utilizar o conceito de profundidade de fecho da praia, definido por Hallermeier (1981). Esta profundidade corresponde à zona a partir da qual o transporte perpendicular à linha de costa deixa de ser significativo para o balanço sedimentar do litoral. Segundo Hallermeier (1981) num ano normal, na profundidade de fecho não se devem esperar variações verticais superiores a 0.3m devido ao transporte de sedimentos perpendicular à linha de costa. Na ausência de perfis de praia submarinos sequenciais que possam determinar essa profundidade, Hallermeier (1981) propôs que a profundidade de fecho (d_c) possa ser calculada segundo a Equação V-1:

$$d_c = 2.28H_s - 68.5 \frac{H_s^2}{gT_s^2} \quad (\text{V-1})$$

Onde H_s é altura da onda significativa anual que apenas é excedida durante 12 horas num ano, T_s é o período significativo anual que apenas é excedido durante 12 horas num ano e g é a aceleração da gravidade. A Equação V-1 pode ser generalizada para uma forma dependente do tempo (Equação V-2 - Stive *et al.*, 1992), ou seja que inclua uma série com vários anos de dados de ondulação:

$$d_{c,t} = 2.28H_{s,t} - 68.5 \frac{H_{s,t}^2}{gT_{s,t}^2} \quad (\text{V-2})$$

Onde $H_{s,t}$ é altura da onda significativa que apenas é excedida durante 12 horas em t anos, $T_{s,t}$ é o período significativo que apenas é excedido durante 12 horas em t anos e g é aceleração da gravidade. Incluir um período alargado é importante, porque vai ter em conta os eventos mais energéticos que não

ocorrem todos os anos, embora haja o risco de sobre-estimar a profundidade de fecho. No entanto, a estimativa por excesso é uma abordagem mais segura quando se trata de decidir a que profundidade explorar sem colocar em risco a linha de costa. Baseado numa série de 14 anos de previsão da ondulação nas ilhas do arquipélago central (Carvalho, 2003), calculou-se a profundidade de fecho para os vários quadrantes da ilha do Faial, consoante a sua orientação (Tabela V-1).

Tabela V-1 · Cálculo da profundidade de fecho da praia baseado na Equação V-2. Os quadrantes representados referem-se à direcção dos raios da ondulação incidente.

	$H_{s,I}$ (m)	$T_{s,I}$ (s)	$d_{c,I}$ (m)
NE	7.5	12.0	14.4
E	5.8	10.3	11.1
SE	5.4	9.9	10.1
S	6.0	10.0	11.1
SW	11.0	12.8	20.0
W	13.7	15.7	25.9
NW	12.0	16.4	23.7
N	8.5	13.9	16.8

Os valores estimados para a profundidade teórica de fecho das praias variaram de uma forma geral entre 10 e 25 metros, dependendo da exposição dos diferentes troços da costa à agitação marítima. Apesar de nos cálculos das Equações V-1 e V-2, a profundidade estimada ser para raios de onda que sejam perpendiculares à linha de costa, decidiu-se considerar, por uma questão de segurança, o valor máximo da profundidade de fecho das ondas que atinjam a linha de costa, ainda que obliquamente. Assim consideraram-se os 15 metros para os troços de costa com orientação N-S (costa Leste do Faial que está exposta à ondulação vinda de NE, E e SE), os 20 metros de profundidade para os troços de costa com orientação E-W (costa Sul do Faial) e os 25 metros de profundidade para os troços com orientação WNW-ESE (costa NE do Faial), orientação NE-SW (parte NW do Faial) e orientação NW-SE (parte SW do Faial), como os limites a partir dos quais não se devem explorar agregados (Figura V-7). Por outro lado, a profundidade inferior de exploração está condicionada pelas limitações tecnológicas, uma vez que a maioria das dragas apenas permite extraer agregados até profundidades de 50 metros. Tendo em conta que este estudo servirá para definir um plano futuro de gestão da exploração de agregados, foram definidas então como profundidades mínimas de extração os 15, 20 e 25 metros de profundidade para os troços de costa definidos acima, e como profundidade máxima

os 50 metros. Com base nas áreas definidas, e assumindo uma exploração de agregados até 2 metros de profundidade abaixo do fundo, obtém-se um valor de 19.2 milhões de metros cúbicos disponíveis para extração. No entanto, é importante realçar que não existem estudos que avaliem os impactos da extração nos ecossistemas marinhos da plataforma do Faial e que estes poderão reduzir as áreas disponíveis para exploração de agregados. Da totalidade desta área, as zonas mais interessantes do ponto de vista da protecção da linha de costa serão as que têm uma cintura de afloramentos rochosos juntos à linha de costa e paralelos a esta. Apesar dos factores de segurança considerados nos cálculos da Equação V-2, explorar nestas zonas parece ser a opção mais acertada, uma vez que esta faixa de afloramentos rochosos serve de protecção à erosão que eventualmente poderia ser causada pela extração de agregados.

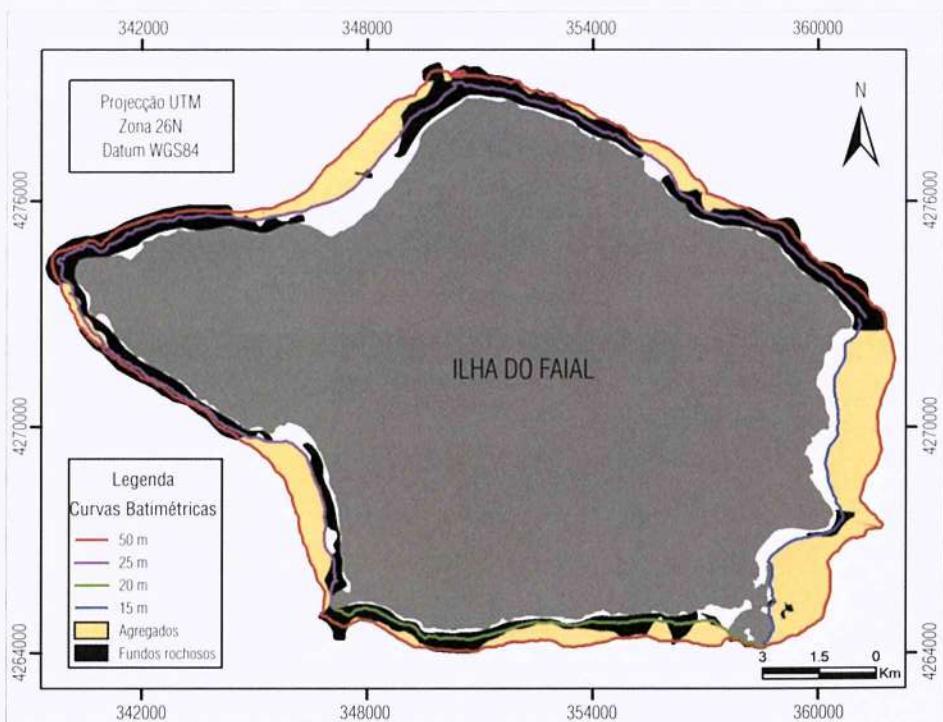


Figura V-7 - Mapa das áreas de agregados na plataforma do Faial passíveis de exploração, com base nos limites definidos pelas profundidades de fecho (15, 20 e 25m) e pelas limitações tecnológicas de exploração (50m). A área total foi utilizada para calcular volumes potencialmente exploráveis assumindo uma profundidade de extração de 2 metros.

1.7. Conclusões e Sugestões de Trabalho Futuro

A distribuição geográfica das ocorrências de sedimentos na plataforma insular do Faial permitiu in-

ferir as áreas mais promissoras em agregados e calcular volumes passíveis de exploração. Apesar de se ter definido uma profundidade superior de exploração como factor de segurança, deverão ser efectuados estudos pormenorizados de prospecção nas zonas mais promissoras. Estes estudos deverão envolver reconhecimentos por sonar de varrimento lateral, amostragem de sedimentos com uma malha mais apertada e ensaios tecnológicos. Este novo conjunto de dados permitirá caracterizar com mais pormenor a variação espacial das características dos sedimentos e assim definir quais os fins mais adequados para a utilização dos agregados. Nas zonas onde o litoral seja arenoso, deverão ser realizados perfis de praia subaéreos e submarinos de forma a poder definir as variações sazonais e determinar com rigor a profundidade de fecho da praia. Haverá também que garantir que ficará assegurada a protecção efectiva do ambiente marinho face aos possíveis efeitos negativos destas explorações nas comunidades bênticas e piscícolas, através de estudos de impacto ambiental. Com base nestes estudos de pormenor deverá ser assegurado a elaboração de um plano de gestão da extracção de agregados em redor da ilha do Faial.

1.8. Agradecimentos

Este trabalho inseriu-se no âmbito do projecto Gemas suportado pela Secretaria Regional do Ambiente da Região Autónoma dos Açores. Rui Quartau beneficiou de uma bolsa INGMAR BDGEOL1 concedida pela Fundação para Ciência e Tecnologia. Agradece-se ao Frederico Cardigos (DOP) e restante tripulação do L/I Águas Vivas e N/I Arquipélago (DOP) toda a colaboração que tornou possível este trabalho. Agradece-se também à EMEPC pela recolha e partilha de dados multifeixe do bordo da plataforma e talude da ilha do Faial.

2. Alimentação Artificial de Areias a Sul da Barra de Aveiro

2.1. Um Breve Enquadramento Histórico sobre a Barra de Aveiro

No livro "Porto de Aveiro, Entre a Terra e o Mar" da autoria da Professora Inês Amorim, da FLUP (edição APA comemorativa dos "duzentos anos da abertura da barra"), é possível descobrir uma enorme riqueza documental sobre o património humano, paisagístico, técnico e sobre o ecossistema da Ria de Aveiro. A leitura estimula o interesse por esse património e pelo desbravar de novas investigações. São descritas situações que deverão ajudar a projectar o futuro (Amorim, 2008).

A abertura e a fixação, com uma estrutura, da barra do sistema lagunar de Aveiro, barra que actualmente existe, durou meio século a projectar (1757 a 1802) e seis anos a concretizar (1802 a 1808). A 2^a Invasão Francesa poderá ter dado um impulso decisivo à conclusão da intervenção na barra, possibilitando a entrada, em 1809, de um comboio de navios ingleses com munições (Figura V-8).



Figura V-8 . Farolim na margem direita da barra (Ílhavo) e painel comemorativo dos duzentos anos da abertura da Barra de Aveiro.

Até à abertura da barra, em 1808, as águas estavam "*lamacentas, lodosas, estagnadas, corruptas*" com implicações no ecossistema e na saúde pública. A paisagem "*tinha morrido*". As interacções

com o oceano eram importantíssimas para a “remoção” das águas. Essas interacções continuam a ser importantíssimas actualmente, mas a poluição combate-se com a redução dos efluentes nas fontes e com estações de tratamento de águas residuais.

A “fermentação das águas estagnadas” trouxe insalubridade. O comércio retraiu-se. A lavoura também porque os campos alagados transformavam-se em pântanos (actualmente há problemas de intrusão salina no Baixo Vouga lagunar). As marinhas não produziam sal (actualmente também não!). O peixe “apodrecia” (actualmente os recursos piscícolas estão a escassear). A navegação mercante reduziu-se. Pobreza generalizada. Fuga de gentes para outras paragens. Crise económica e social. A morte da Ria!

Grandes potencialidades naturais podem ser associadas durante séculos ao sistema lagunar de Aveiro, desde a sua formação a partir de um golfo marinho. Mas também sempre existiram e existirão grandes constrangimentos geomorfológicos. Nascimento de flechas arenosas, migração da barra, abertura e fecho de barras, assoreamentos, alterações de canais navegáveis, erosões. Um sistema dinâmico que entra e sempre entrará em conflito com geometrias fixas.

Já em 1687, engenheiros holandeses que observavam a barra que então existia terão sentenciado que “não ficariam fiadores da barra por ser feita de areias movediças que está sempre à mercê dos ventos, das marés e das enchentes dos rios”. Não referem a agitação marítima mas esta é tão energética que pode sobrepor-se a todos os outros fenómenos.

Depois da intervenção de 1808, ocorreram diversas “obstruções” em anos críticos (1838 a 1909). Era preciso construir “um dique à moda da Europa”. Entre 1932 e 1936, construiu-se o molhe (quebramar) Norte e um dique regularizador de correntes. Os molhes foram prolongados entre 1949 e 1958. A barra estava lá. Foi consolidada e o porto cresceu e desenvolveu-se! Uma história longa de interacção do homem com a natureza. O desejo do homem de “dominar” a natureza ou o desejo do homem *trabalhar* com a natureza?

Luís Gomes de Carvalho, um dos nomes relevantes a evocar, também concretizou projectos no estuário do Douro. A invocação deste engenheiro possibilita uma oportunidade de referência ao Douro:

- Rio Douro como grande fonte sedimentar que deu origem à flecha litoral que foi a génese do sistema lagunar de Aveiro;
- Problemas da Barra do Douro. A morte de um porto. O molhe Luís Gomes de Carvalho ou das “Pedras do Lima”. As intervenções e a recente conclusão dos molhes depois de decénios de polémicas, dezenas de soluções, acusações e receios fundados e infundados;
- Ligação, em canal navegável, entre o Douro e o Vouga, desenhada mas não concretizada.

O problema da Barra de Aveiro não está “resolvido”. A história continua.

Às Zonas Costeiras muito dinâmicas estão associados complexos problemas, mitos, intervenções para possibilitar usos e actividades, importantes impactes desconhecidos ou ignorados, angústias, mas também aliciantes desafios e oportunidades.

A Sul da Barra de Aveiro existe um passivo ambiental e de segurança, a mitigar antes que o sistema entre em ruptura total, com consequências que não foram assumidas pela sociedade. Campos de esporões, estruturas longitudinais aderentes, cerca de vinte quilómetros de diques de areia, estão a "adiar" a abertura de novas barras, a perda ainda mais acentuada de território e profundas transformações no ecossistema e na agricultura das planícies costeiras. Está a ser "adiada" a data em que o património edificado vai ser atingido e o património natural alterado.

No passado, a preocupação era a excessiva largura da flecha litoral arenosa que fechava a laguna. Actualmente é a potencial rotura dessa flecha/restinga que constitui motivo de grande preocupação. Há dezasseis anos, no âmbito do Plano Regional do Centro Litoral (PROTCL) alertava-se para a situação crítica que já se vivia. Algumas das previsões de evolução da linha de costa que constam do Plano de Ordenamento da Orla Costeira Ovar – Marinha Grande, com menos de um decénio, já foram ultrapassadas. Em "casa" onde não há areia nem areão todos "ralham" e ninguém tem razão.

Novos e velhos desafios estão em curso. Por exemplo, a gestão do Domínio Público Marítimo, a gestão do sistema lagunar de Aveiro, o controlo da edificabilidade em áreas muito vulneráveis e de elevado risco, a requalificação dos ecossistemas e dos espaços edificados, a não retirada de areias do sistema e dos sub-sistemas.

A comemoração do bi-centenário da abertura artificial da Barra de Aveiro constitui um excelente testemunho de que o homem interage com a natureza, proporcionando condições para o desenvolvimento social e económico. Mas a natureza tem dinâmicas, com intensidades e escalas de tempos, que nos devem fazer sentir muito pequeninos e sedentos de um processo de aprendizagem contínuo.

2.2. Erosões e Recuo da "Linha de Costa"

As considerações que se apresentam continuam actuais, pelo que se transcrevem de Veloso-Gomes (1992). Existe uma situação generalizada de regressão ou recuo da linha de costa. Continua a evidenciar-se o agravamento dos fenómenos de erosão e a sua expansão de Norte para Sul. A previsão de recuos em anos horizonte de projecto, terá de ser encarada com muitos cuidados face à complexidade dos fenómenos físicos envolvidos, à capacidade de intervenção humana acelerando ou travando evoluções, ou à possibilidade de se atingirem limiares não controláveis ou não previsíveis face ao actual estado de conhecimentos.

A uma escala geológica, as possíveis causas da regressão generalizada, associam-se à subida ge-

neralizada do nível médio das águas do mar, a movimentos de neo-tectónica e a possíveis alterações meteorológicas (alteração de rumos de ventos, alteração da frequência e intensidades dos temporais no mar, alteração de correntes oceânicas).

As causas mais recentes são associáveis ao enfraquecimento das fontes aluvionares (alterações a nível das bacias hidrográficas, albufeiras e barragens, extrações de areias nos rios e estuários, dragagens nos canais de navegação e nas docas), à ocupação humana (sobre dunas, praias e arribas), à construção e ampliação de quebramares, à implantação de esporões e de obras aderentes (com impactes de antecipação de fenómenos a sotamar), à fragilização de dunas (terraplanagens, pisoteio, acessos às praias, parques de estacionamento, veículos motorizados, "cortes" de acesso para a arte xávega).

Nas últimas décadas, na faixa costeira do Centro Litoral, o recuo médio que se verifica em grandes extensões está em grande parte associado ao enfraquecimento das fontes aluvionares por razões antrópicas (Figura V-9). É vital o reconhecimento de que situações naturais altamente dinâmicas que no passado não suscitavam qualquer intervenção (nem existiam meios técnicos para o fazer) são actualmente contrariadas pelo tipo de ocupação do solo (edificabilidade em restingas, dunas, praias) e pelos usos (exploração portuária) que actualmente se verificam nessas zonas.



Figura V-9 - Costa Nova (lhavo) e Vagueira (Vagos), na restinga a Sul da Barra de Aveiro. Ocupação urbana em faixas muito dinâmicas. Situação de eminent rotura do cordão dunar e intervenção de emergência.

2.3. Porto de Aveiro: Principais Intervenções com Repercussões Hidromorfológicas na Zona Costeira

As referências que se apresentam ilustram as principais intervenções realizadas na Barra de Aveiro, nos Séculos IXX e XX, com repercussões na dinâmica e por conseguinte na hidromorfologia da zona costeira adjacente (Figura V-10).



Figura V-10 - A Barra de Aveiro, mostrando o Farol e molhe Sul. Restinga a Sul muito vulnerável com a Praia da Barra e a Costa Nova (Ilhavo).

1808 - Abertura e fixação de uma embocadura artificial. Projecto do engenheiro Luís Gomes de Carvalho. Após o canal da barra ter fechado completamente em 1787, a que se sucedeu a ruína do comércio, a insulabridade da população devido à estagnação das águas, o decréscimo da população, a decisão de restabelecer e fixar um canal da barra foi tomada em 1801. As obras foram iniciadas em 1805. A abertura da nova barra visava o restabelecimento das trocas de massas de águas entre a laguna e o mar por acção das marés e dos caudais fluviais. Foi executado um dique de enrocamento, enraizado na Gafanha e atravessando a Ria até ao cordão dunar.

1859 - Construção de um dique na margem Norte. Projecto do engenheiro Silvério Pereira da Silva, foi construído com 400m de extensão após ocorrência do assoreamento da barra e da reabertura da antiga Barra da Vagueira. A intervenção incluiu também o prolongamento do dique de Gomes de Carvalho através do cabedelo que se havia formado. Visava a fixação do canal.

1932-1936 - Primeira Fase das "Obras de Melhoramento da Barra". O projecto foi do engenheiro João

Von Haff (de 1927), com alterações de acordo com o parecer de uma missão inglesa. As obras foram realizadas com o objectivo de fixar a posição do canal de acesso ao porto, possibilitando também as profundidades necessárias a uma melhor utilização pela navegação que o demandava, até 15 pés de calado. Incluiu as seguintes obras:

- Construção de 470m do Molhe Norte (não foram executados mais 300m de molhe saliente para o mar previsto no projecto);
- Construção de 3000m de diques “reguladores” de correntes, concentrando as correntes de vântane provenientes dos vários braços (Figura V-11).



Figura V-11 - Barra de Aveiro e sistema lagunar envolvente com diques de guiamento de correntes e canais navegáveis

1935-1936 – Dragagem do canal de acesso a Aveiro, entre as Duas Águas e o ancoradouro da Gafanha. Foi uma dragagem realizada com o objectivo de facilitar o acesso à navegação, regularizar o canal e aumentar o prisma de marés. Alguns dados: extensão do canal 2840m, largura 40m, cotas do fundo a -2.70m.

1936-1937 – Dragagens do canal de acesso a Aveiro, entre o ancoradouro da Gafanha e as Pirâmides. Consistiu na extensão da obra anterior com o comprimento de 3123m.

1938-1939? – Dragagem do canal de acesso a Aveiro, entre o Forte da Barra e as Duas Águas. Foi uma extensão das obras de dragagem anteriores com o comprimento de 3507m, fundos a -3.5m e larguras entre 60 e 100m.

1950-1951 – Extensão do Molhe Norte. O Molhe Norte foi prolongado em 300m, completando o

projecto de Von Haff, de forma a "minorar o assoreamento na barra".

1950-1960 – Segunda Fase das "Obras de Melhoramentos da Barra". Era a concretização de um projecto pendente desde 1937. Contemplou o prolongamento do Molhe Norte em 400m no sentido do mar, a construção de um Molhe Sul, com 800m de comprimento, enraizado na praia exterior e localizado 400m a Sul da cabeça do antigo Molhe Luís Gomes Carvalho. O projecto visava o acesso ao porto de navios com 23 pés de calado.

1983-1987 – Prolongamento do Molhe Norte. Extensão, em cerca de 550m de comprimento do quebramar Norte e obras de regularização de canais. Melhoria das condições de acesso e segurança da navegação.

2.4. Portos, Quebramares, Dragagens e Erosão Costeira

Os transportes marítimos são um dos vectores mais importantes nas trocas comerciais internacionais.

Os quebramares e os canais dragados de acesso aos portos comerciais, de pesca e de recreio são essenciais à segurança e à operacionalidade da navegação marítima e fluvio-marítima. Contudo, os quebramares e os canais de navegação introduzem efeitos de "barreira" ao transporte sólido litoral. Estes efeitos são uma das causas da erosão das zonas costeiras e intensificam-se com o aumento do número, extensão e profundidades de implantação dessas estruturas.

Diversas acções naturais e antropogénicas são responsáveis, em maior ou menor grau, pela situação generalizada de erosão que se verifica no litoral da costa Oeste portuguesa. A redução significativa dessas acções é praticamente impossível em alguns dos casos, face à elevada dinâmica e escala dos fenómenos, mas tecnicamente possível noutras casas. Actuações a nível de ordenamento do território são essenciais para inverter um modelo de ocupação em que reinou o primado da edificabilidade em zonas muito vulneráveis sob o ponto de vista de valores naturais e de segurança às acções diretas e indirectas do mar. Construções em zonas muito vulneráveis ficam em situação de risco elevado.

A redução do efeito de estufa e da evolução das alterações climáticas, a que se associa a subida generalizada do nível médio das águas do mar e o agravamento da tempestuosidade, resultando no aumento das áreas imersas, áreas galgáveis e erosões, a conseguir-se, só terá resultados a médio prazo. Possivelmente esses resultados não irão além de uma desaceleração da evolução dos fenómenos. A redução do efeito de estufa envolve difíceis opções sociais e económicas a nível mundial. Não é previsível, pelo menos em relação às próximas décadas, que se altere a situação recente da crescente artificialização dos principais cursos de água (barragens, albufeiras, canais de navegação, extração de sedimentos, controlo de erosões) anteriormente fornecedores de elevados montantes

de sedimentos às zonas costeiras. Por razões de segurança (ondas de cheia a jusante, deslizamentos de encostas a montante, características do equipamento electromecânico), por razões operacionais e grande dependência em relação ao regime hidrológico, seria praticamente irrelevante, em termos de aumento do caudal sólido, "exigir" às entidades concessionárias dos aproveitamentos hidroeléctricos um regime de exploração que desse prioridade ao aumento das "correntes de varrer" através da abertura de comportas.

As obras de defesa costeira, como os esporões, quebramares destacados e obras longitudinais aderentes desempenham actualmente um papel vital na defesa de núcleos edificados. Mas têm impactes negativos, limitações funcionais e custos de construção e de manutenção que estão a atingir limiares difíceis de aceitar se não forem acompanhadas por outras soluções técnicas e por medidas rigorosas de ordenamento.

Os troços da costa ocidental portuguesa onde são mais visíveis os problemas de erosão estão a sotamar (Sul) dos portos comerciais e piscatórios (Viana do Castelo, Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Leixões, Douro, Aveiro, Figueira da Foz, Lisboa). Por razões de operacionalidade e de segurança os portos continuarão a exigir quebramares e canais de acesso de dimensão considerável e estão a reclamar por novos aumentos de extensão dos quebramares e de profundidades dos canais. Essas barreiras ao transporte sólido litoral subsistirão e agravarão os problemas a sotamar ainda que alguns dos modelos o não evidenciem.

Por outro lado, para manter as acessibilidades às zonas portuárias em condições de segurança, anualmente são extraídos milhões de metros cúbicos de areia do mar e estuários. O tipo de modelos utilizados (apesar de evoluídos) nos Projectos e nos Estudos de Impacto Ambiental dos aumentos da extensão dos quebramares e aprofundamento dos canais de navegação, a inexistência de dados topo-hidrográficos actualizados na faixa costeira a Sul das áreas sob jurisdição portuária, a não consideração de cenários de variabilidade e de alterações climáticas e de intervenções antropogénicas, e os efeitos cumulativos (dragagens ao longo dos anos, alteração dos canais de navegação, construção e prolongamento dos quebramares, alterações a nível das bacias drenantes para os sistemas estuarinos e lagunar) não possibilitam o estudo de evoluções hidromorfológicas a médio e longo termo.

São lacunas de conhecimentos muito importantes não assumidas nem referidas nos Estudos de Impacto Ambiental, incluindo os mais recentes. As áreas portuárias não estão contempladas nos POOCs (Planos de Ordenamento da Orla Costeira), o que constitui um grave erro político/legislativo já que são evidentes os impactes que as infra-estruturas portuárias têm em extensas áreas costeiras adjacentes, nomeadamente a nível hidromorfológico.

Com poucas exceções, a grande maioria do volume extraído de areias tem sido utilizado para cons-

trução civil ou para aterros portuários, pelo que essas areias deixaram de circular a longo da costa. Embora esta ocorrência não seja nova, considera-se a situação muito grave porque:

- As suas consequências (de natureza cumulativa) fazem-se sentir pelo agravamento das erosões nas praias e dunas a sotamar. Na generalidade, as praias encontram-se muito emagrecidas. A barlamar e a sotamar dos esporões a areia acumulada é muito menor do que se verificava na década de 80 e inícios da década de 90;
- O caudal sólido de origem fluvial transportado para o mar representa na actualidade uma pequena fracção do que significava há duas ou três décadas atrás, devido à construção de aproveitamentos hidráulicos, dragagens, extracção de sedimentos e pelo funcionamento das zonas terminais dos estuários como grandes bacias de "sedimentação" (bacias e canais portuários, alterações hidrodinâmicas e fisiográficas);
- Prevê-se que esses efeitos cumulativos associados à redução das fontes aluvionares e extracção por dragagem se intensifiquem nos próximos anos, embora a sua intensidade esteja muito associada aos estados de agitação anuais que se vierem a registar;
- Da venda dessas areias para a construção civil não resultaram receitas financeiras aplicáveis na mitigação das consequências dessa extracção. Não há uma internalização dos custos ambientais. As receitas foram arrecadadas pelas autoridades portuárias, constituindo em diversos casos um suporte financeiro considerado indispensável à própria manutenção da actividade portuária.

O prolongamento dos esporões poderá contribuir para que as areias repostas nas praias af permaneçam por períodos mais dilatados. Porém, dado o elevado défice sedimentar que desde há muitos anos existe a Sul das barras do Lima, Cávado, Ave, Douro, Aveiro, Mondego (sem que tivessem sido minimizados os efeitos das dragagens com recolocação de sedimentos a Sul), a interrupção com esporões mais extensos do pequeno transporte sedimentar que ainda subsiste agravia ainda mais os problemas erosivos a Sul. Toda a vasta extensão das zonas costeiras a Sul dessas barras está actualmente com um alinhamento da "linha de costa" recuado em relação ao alinhamento fixado artificialmente com as obras aderentes nas zonas edificadas. A tendência já patente para a abertura de novas barras ou para o agravamento da intensidade e frequência de galgamentos da restinga poderá agravar-se com o aumento do comprimento dos esporões.

Tal como há dezanove anos atrás (Veloso-Gomes, 1992) e agora com os problemas ainda mais agravados, defende-se que é premente a realização de operações de alimentação de praias e dunas com uma parte significativa das areias dragadas e/ou a eventual adopção de soluções de *by-pass* aos

quebramares e embocaduras. É necessário proceder a operações de alimentação artificial com areais em Castelo do Neiva (a partir do Porto de Viana do Castelo), Ofir (a partir da foz do Rio Cávado), Porto (a partir do Porto de Leixões), Vila Nova de Gaia (a partir da foz do Rio Douro), Costa Nova (a partir das dragagens na zona Sul da Ria de Aveiro), Gala e Costa de Lavos (a partir da Figueira da Foz), Costa da Caparica (a partir do estuário do Tejo). Nesses sectores costeiros já existem obras de defesa que, apesar de estarem a ser reparadas e reforçadas, poderão ser impotentes a médio prazo para desempenharem a sua função pelo contínuo agravamento do défice sedimentar e pela crescente intensificação da ocupação urbana.

A origem das areias para a alimentação artificial de praias poderá e deverá ser encontrada nos montantes que continuam a ser extraídos para a manutenção dos canais de navegação ou nas áreas de barlamar onde se verificam acumulações, sendo necessário que essas areias tenham qualidade compatível com a legislação em vigor. O transporte de areias para o local da alimentação constitui um problema técnico com custos a adicionar às operações de dragagem propriamente ditas.

As descargas em zonas submersas poderão ser muito pouco eficientes com o clima de agitação da costa Oeste portuguesa, embora esta técnica tenha menores custos e seja menos dependente das condições locais de fundos e agitação. As soluções de repulsão para terra, com a utilização de *pipelines* flutuantes ou imersos, têm constituído boas alternativa nos casos de Vila Moura e da Costa da Caparica. O transporte por via terrestre tem impactes negativos significativos pelo tráfico que gera, só sendo viável para pequenos volumes relativos e quando os acessos são favoráveis.

As empreitadas de alimentação artificial de praias e dunas e as operações de transposição artificial de areias carecem de estudos técnicos, necessitam de financiamentos compatíveis e exigem um adequado relacionamento institucional entre as autoridades portuárias e as autoridades que tutelam as zonas costeiras. Mas urge implementá-las como forma de mitigar situações que podem vir a assumir proporções não controláveis.

2.5. Cordões Dunares

A conservação, reconstrução e estabilização das dunas litorâneas, a sua protecção em relação às construções e ao pisoteio, bem como o seu repovoamento vegetal, são acções que podem e devem ser incentivadas e concretizadas pelas autarquias e grupos ambientais (Veloso-Gomes, 1992; Figura V-12).

As intervenções a nível dos cordões dunares no sistema lagunar de Aveiro foram executadas a dois níveis: situações graves de emergência de ruptura dos cordões dunares (Figura V-13), reabilitação e requalificação de cordões dunares evidenciando alguma estabilidade (dinâmica). No último caso,

foram efectuadas, e são actualmente visíveis, muitas intervenções através do fecho de acessos sobre as dunas, passadiços elevados ou pousados, ripados, povoamento e protecção da vegetação. A Direcção Regional do Ambiente, posteriormente integrada na CCDR, em colaboração com as autarquias, efectuou um trabalho de grande mérito, o qual deve prosseguir agora pela ARH Centro. Verificaram-se assinaláveis rupturas do cordão dunar, particularmente críticas na restinga arenosa a Sul da Costa Nova. Ao longo de uma grande extensão, a destruição do cordão dunar, os galgamentos pelas ondas e o acentuado recuo da linha de costa originaram o alagamento de terrenos agrícolas, o corte da estrada e potenciam a formação de uma ou mais embocaduras (ligações ao mar). Se esta situação vier a ocorrer (não está assumida no POOC!), o edificado das Gafanhas fica em perigo, o braço de Mira fica salinizado e os solos agrícolas da restinga e das Gafanhas ficarão impraticáveis para a agricultura. Os impactes sócio-económicos serão de grande envergadura.



Figura V-12 . Cordão dunar na Praia da Barra (Ilhavo), imediatamente a Sul da Barra de Aveiro.

A construção de cordões de dunas/diques de emergência, com areias ripadas da zona entre marés, constituiu a intervenção possível no quadro actual, passível de muita crítica particularmente de quem não viveu as situações graves registadas. Se esses diques mantiverem alguma estabilidade dinâmica, os ventos encarregar-se-ão de os moldar. Após alguns Invernos, a vegetação começará a encontrar condições para se desenvolver, por diminuição da salinidade das areias. Acções de revegetação anteciparão o desenvolvimento natural. A duna artificial recuada, prevista no POOC na restinga a Sul da Costa Nova, já tem um Estudo Prévio. Porém há que superar diversos problemas relacionados com o cadastro da propriedade dos solos, expropriações, origem de alguns milhões de m³ de areias para a

sua construção, técnicas e programação de execução, impactes ambientais durante a sua execução, afectação de meios financeiros.



Figura V-13 - Situações de emergência. Construção de diques artificiais pelo INAG, em grandes extensões a Sul da Barra de Aveiro.

A conclusão a que se está a chegar com as recentes evoluções da costa, posteriores às referenciadas no POOC, é que a evolução é mais rápida do que a antecipada. A própria duna recuada poderá vir a ser atingida por temporais pelo que poderá necessitar de um núcleo resistente. A utilização de geosintéticos está em estudo.

A colocação de areias nas praias, extraídas nas operações de dragagem portuária e soluções de transposição (*by-pass*) aos quebra-mares, deixaram de ser hipóteses a encarar favoravelmente. Terão de ser uma exigência sob pena de se perder o controlo da situação.

2.6. Aspectos Técnicos sobre Alimentação Artificial com Areias

2.6.1. Relacionamento Institucional

As empreitadas de alimentação artificial de praias e dunas e as operações de transposição artificial de areias carecem de estudos técnicos, necessitam de financiamentos compatíveis e exigem um adequado relacionamento institucional entre as autoridades portuárias, as autoridades que tutelam as zonas costeiras e as autoridades de administração local. Mas urge implementá-las como forma de mitigar situações que podem vir a assumir proporções não controláveis (Figura V-14). Se tal acontecer, os problemas continuar-se-ão a agravar e a tomada de medidas de mitigação, propostas desde 1967 (Estudo do Restabelecimento Artificial do Transporte Litoral Através da Embocadura da Ria de Aveiro – Hidrotécnica Portuguesa) continuarão a ser ignoradas ou esquecidas.

Destacam-se, pela positiva, as intervenções de alimentação artificial executadas no Algarve na praia dos Três Castelos (Portimão) e Vilamoura/Quarteira, com a actuação do INAG e do IPTM, na Costa da Caparica, com a iniciativa do INAG e a participação do Porto de Lisboa (Veloso-Gomes *et al.*, 2007) e no Castelo do Queijo por iniciativa da APDL. Só muito recentemente (Junho 2009) é que ocorreu a decisão no sentido da alimentação das praias a Sul da Barra de Aveiro, com a intervenção do INAG, ARHCentro e APA, para além das iniciativas já em curso de colocação de produtos dragados em zonas submersas a Sul da barra. Estas operações já deveriam estar a ser realizadas há muitos anos (Veloso-Gomes, 1992) e deveriam ter sido previstas e assumidas como indispensáveis nos diversos Estudos de Impacto Ambiental e nas Declarações de Impacto Ambiental.



Figura V-14 . Frente edificada da Praia da Vagueira (Vagos). Situação de risco elevado. Um exemplo de grande irresponsabilidade urbanística.

2.6.2. Origem das Areias. Fontes e Zonas de Empréstimos

A origem das areias (fontes) para a alimentação artificial de praias poderá e deverá ser encontrada, em alternativa ou complementarmente (Veloso-Gomes, 2001)

- Nos montantes extraídos para o aprofundamento dos canais de navegação e para o prolongamento de quebramares;
- Nos montantes que continuam a ser extraídos para a manutenção dos canais de navegação;
- Nas áreas de barlamar onde se verificam acumulações (a Norte do quebramar Norte), na praia ou nos bancos submersos;
- Em bancos submersos ao largo (profundidades superiores a 20 ou 30m);

É necessário que essas areias tenham qualidade compatível com a legislação em vigor, satisfazam os volumes de projecto, não se localizem em zonas sensíveis do ponto de vista ecológico ou de exploração de recursos vivos, conduzam a soluções técnicas e a custos de extração e transporte exequíveis.

Em relação à avaliação da qualidade dos sedimentos nas fontes, a Portaria n.º 1450/2007, de 12 de Novembro, fixa as regras para a aplicação do Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio, que estabelece o regime da utilização dos recursos hídricos, na sequência da aprovação da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro (Lei da Água), que transpõe para o ordenamento jurídico nacional a Directiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro (Directiva Quadro da Água). Essa Portaria possibilita a classificação de materiais dragados de acordo com o grau de contaminação (Classes 1 a 5). Os materiais da Classe 1 (material dragado limpo) e os da Classe 2 (material dragado com contaminação vestigiária) são os que poderão ser utilizados em operações de alimentação artificial (ver Tabela I-2 da Secção I-3.3.5).

A granulometria das areias também deverá ser controlada. Será desejável que as operações de alimentação utilizem areias com granulometrias próximas das existentes no troço a alimentar. Nem sempre tal é possível, já que as fontes de sedimentos não abundam (em quantidade e qualidade) e há outros factores ambientais e económicos a ponderar. As praias alimentadas com granulometrias mais elevadas serão mais estáveis mas mais declivosas, induzindo novos perfis com possíveis implicações a nível de comodidade e segurança balnear. Praias alimentadas com granulometrias menores são potencialmente mais instáveis e por conseguinte os volumes colocados tenderão a ser levados mais rapidamente pelas acções do mar.

Os custos de dragagem/bombagem variam com a granulometria (bem como com a eventual presença de conchas e de outros materiais fragmentados). Se os sedimentos forem finos (diâmetros d_{50} inferiores a 0.2mm, como ordem de grandeza), o que muito provavelmente significará que terão também algum teor de matéria orgânica inerte, poderão ser colocados em zonas vulneráveis no reforço de cordões dunares ou como dunas/diques artificiais na zona Sul dos esporões da Costa Nova ou a Sul deste campo de esporões, tal como já foi realizado anteriormente.

As zonas potencialmente favoráveis para a origem das areias deverão ser objecto:

- De um levantamento topo-hidrográfico para estimativa de volumes disponíveis, proposta de plano de dragagens/remoção, acompanhamento das dragagens/remoção, monotorização. Neste levantamento deverão ser efectuadas colheitas de amostras para a análise de granulometria e de qualidade;

- De uma avaliação dos biótipos e da importância ecológica bem como da importância em termos de exploração de recursos vivos;
- Das restrições ambientais a impor (perfodos do ano, acessibilidades, perímetros de intervenção, volumes máximos, tipos de equipamentos e motores, técnicas de dragagem/remoção, controlo de ruídos, emissões e derrames).

2.6.3. Transporte e Deposição das Areias

O transporte de areias e a deposição no local da alimentação constitui um problema técnico, com custos a adicionar às operações de dragagem propriamente ditas (Veloso-Gomes, 2001):

- As descargas, através da abertura dos porões, (*direct dumping*) em zonas submersas (frontais à praia ou duna) poderão ser muito pouco eficientes (uma grande percentagem do material não atingirá a praia) com o clima de agitação da costa Oeste portuguesa, embora estas técnicas tenham menores custos. Exigem cotas mínimas de -3.5 ao ZH (com restrições do estado da maré e agitação) ou profundidades superiores (menores restrições). Exigem condições de agitação favoráveis sob pena de a draga não se aproximar efectivamente das profundidades de projecto. Face à situação de grave défice sedimentar que se atingiu a Sul da Barra de Aveiro em lugar da deposição em curso de areias entre os -2m e -5m (ZH), a deposição deverá realizar-se na própria praia, cabendo ao mar a função de moldar os perfis. O sector a Sul do quinto e último esporão da Costa Nova foi fortemente erodido na época que se seguiu à implantação desse campo de esporões. Mas ao contrário do que afirma no Estudo de Impacto Ambiental, esse sector actualmente não se encontra “*numa situação de equilíbrio meta-estável*.” No Inverno de 2008/2009, a Praia da Barra, ao fim de quase duas dezenas de anos, mostrou sinais de instabilidade.
- As soluções de repulsão para terra (*direct pumping by pipeline*), com a utilização de tubagens flutuantes, imersas ou uma combinação, poderão constituir alternativa. Exigem dragas com capacidade de bombagem capazes de transferir as areias dos seus porões para diversas secções das praias/dunas e condições favoráveis de agitação. Uma “dragagem de sucção e arrasto”, após o enchimento do porão na zona de empréstimo, desloca-se até uma distância conveniente da zona a encher, efectuando a sua repulsão através de tubagem (flutuante ou pousada no fundo marinho) para a praia, devendo a draga estar fundeada (por exemplo numa bóia) durante a operação (Figura V-15). Se a extensão da repulsão for muito elevada – superior a cerca de 2km – (e/ou se a granulometria da areia também for elevada) poderá ser necessário instalar uma estação intermédia de bombagem (*booster*), a qual exige condições favoráveis de agitação. Se a draga conseguir aproximar-se da

praia / duna entre 25 e 100m (ou mais, para equipamentos especiais), o sistema de repulsão por jacto (*rainbowing* ou *jet disposal*) poderá lançar os sedimentos através de um jacto em forma de um grande arco (analogia com arco-íris).



Figura V-15 - Alimentação das praias da Costa de Caparica com draga fundeada a repulsar para a praia através de um *pipeline* submerso.

- As soluções mistas de descargas em zonas submersas e bombagem destas para os troços de praia ou duna a reperfilhar (*rehandling*), poderão constituir outra alternativa. O material dragado de uma fonte bastante afastada (por uma draga de sucção não estacionária – *trailing suction hopper dredge*) é colocado em stock ou stocks submersos próximos dos troços a reperfilhar. Uma draga de sucção estacionária (*cutter suction dredge*) repulta o material para a praia ou duna. Poderá haver perda de parte do material (particularmente da fracção mais fina) e são necessárias condições de agitação e profundidades favoráveis.
- Compete ao Empreiteiro estudar e submeter à aprovação prévia os equipamentos e métodos construtivos que considere como os mais adequados para a realização das dragagens, transporte, bombagem e reperfilamento terrestre no local definitivo (Veloso-Gomes, 2003). As técnicas de repulsão/deposição deverão reduzir, tanto quanto possível, a turvação da água. Pelo acompanhamento *in loco* das operações de repulsão/deposição de areias e reperfilamento, poderá haver vantagem em introduzir correcções das operações e das sequências das operações no sentido

de mitigar impactes, melhorar aspectos operacionais e aumentar rendimentos. Os concorrentes à empreitada de dragagem e alimentação artificial deverão indicar as operações e os meios operacionais que se propõem mobilizar para atingir os objectivos e salvaguardar os aspectos indicados, bem como as restrições e limitações que poderão existir nomeadamente em termos de estados de agitação. Os concorrentes e o empreiteiro a quem for adjudicada a obra deverão inteirar-se de todos os elementos sobre as condições naturais relevantes para a operacionalidade dos sistemas e para a programação dos trabalhos assumindo inteiramente a responsabilidade pelas hipóteses de base que admitirem na elaboração das suas propostas, nomeadamente a nível de: estados do mar (agitação, ventos, marés, correntes, nevoeiros), robustez e condições de operacionalidade dos equipamentos flutuantes e terrestres, interrupções de trabalho associadas ao estado do mar, perfis de praia existentes no início e durante a execução dos trabalhos, constituição mineralógica, composição, granulometria, profundidades, dos sedimentos a dragar, restrições impostas pela autoridade portuária e outras associáveis à realização de dragagens num canal navegável, equipamentos e metodologia de dragagem, deposição de sedimentos e reperfilamento da praia, e rendimentos.

- O transporte de areias por via terrestre (proveniente de S. Jacinto ou de depósitos localizados nas instalações portuárias) tem custos muito elevados e impactes negativos significativos pelo elevado tráfico que gera, de ida e volta, para transportar por via terrestre uma elevada quantidade de sedimentos (da ordem das centenas de milhar a milhões de m³). Os custos de transporte, os danos nos pavimentos das vias a utilizar e os conflitos de tráfego aumentam proporcionalmente com a distância a percorrer pelos veículos pesados. Outra questão crítica prende-se com a autorização a obter dos proprietários dos terrenos para concretizar a deposição e/ou a passagem de veículos (*dumpers*) no acesso às dunas. A alternativa, se viável, será realizar o transporte ao longo das praias. Esses impactes seriam reduzidos se o transporte fosse por via marítima, o que acontece quando as operações de transporte integram as próprias intervenções de dragagem.

- As soluções de transposição artificial da barra poderão ser, em alternativa:

- estação de bombagem móvel, no quebramar Norte e repulsão (com *boosters*) por conduta enterrada para diversos locais na Costa Nova,
- escavadoras *dragline*, no quebramar Norte e transporte para Sul por bombagem.

As zonas para onde vão ser repulsadas as areias e realizadas as operações de reperfilamento (das praias ou dunas) deverão ser objecto (Veloso-Gomes, 2001):

- de levantamentos topográficos e topo-hidrográficos, antes e depois da intervenção para estimativa de volumes, proposta de plano de intervenções, acompanhamento das intervenções, monitorização. Neste levantamento deverão ser colhidas amostras para a análise de granulometria e qualidade;
- de uma avaliação dos biótopos e da importância ecológica bem como da importância em termos de exploração de recursos vivos;
- do levantamento das restrições e condições ambientais (períodos do ano, acessibilidades, perímetros de intervenção, técnicas de dragagem/repulsão/reperfilamento, controlo de ruídos, emissões e derrames, revegetação).

2.6.4. Reperfilamento da Praia após a Alimentação

Deverão ser realizados levantamentos topo-hidrográficos das praias alimentadas, antes e depois da concretização da operação de alimentação de areias. Durante o período de realização da alimentação artificial será feito o controlo de qualidade e da granulometria das areias. A bombagem realiza-se com areia emulsionada, por exemplo com uma proporção de 30% de areia e 70% de água do mar. Se não existirem sinais de peixes e de outros seres vivos na descarga de areias emulsionadas com água, esse indicador revela que na zona de dragagem (por exemplo um canal de navegação), a vida marinha não estará a ser afectada de uma forma significativa.

As dragagens e repulsão das areias para a praia serão executadas até serem atingidos os níveis e perfis indicados, respeitando os limites dos volumes a dragar. Na zona da praia deverá ser promovido o respectivo espalhamento e nivelamento das areias bombadas, mediante o emprego de tractores e/ou pás carregadoras próprias, como sejam as de esteiras ou lagartas, de forma a reconstituir um perfil de duna e de praia previamente definido. Existem perfis "teóricos" para apoio ao projecto de uma praia a alimentar artificialmente. No entanto, as condições em que foram obtidos podem não corresponder às situações reais da costa Oeste portuguesa e às condições locais. A menos que exista uma adequada monitorização anterior à intervenção e experiência de intervenção no local, será de adoptar uma outra metodologia: deixar o mar "trabalhar". Depois da actuação de meios terrestres de reperfilamento inicial, cabe às acções do mar a remobilização das areias de forma a reconfigurar o areal segundo perfis que variarão no tempo com as marés, com a agitação e com a movimentação de sedimentos. A referida reconfiguração por acção do mar evoluirá ao longo do tempo, sendo previsível, a exemplo do que sucedeu no passado, uma progressiva perda de areal. Não se podem criar expectativas quanto à criação de uma praia "definitiva" quando o histórico revelou uma situação de erosão resultante de um défice sedimentar. Um adequado programa de monitorização é essencial.



Figura V-16 – Alimentação das praias da Costa da Caparica. Extremidade do *pipeline* de repulsão e trabalhos de reperfilamento na praia.

Deverão ser salvaguardadas as condições de segurança de banhistas, de “mirones”, de surfistas e da navegação através da sinalização, distribuição de panfletos, delimitação e interdição das zonas de trabalhos e envolventes no plano de água, na praia e nas dunas. No local onde decorrem os trabalhos deverão estar presentes vigilantes porque as vedações não são respeitadas. Após a alimentação artificial, deverão ser intensificados os meios de fiscalização e de salvamento para o uso balnear já que se geram novas condições de perfis submersos e de correntes a que os banhistas e os nadadores salvadores poderão não estar habituados.

O controlo dos volumes envolvidos na operação de alimentação da praia pode ser realizado considerando os seguintes métodos:

- Volumes transportados em porão e repulsados, considerando coeficientes de empolamento;
- Comparação entre volumes de praia, antes e depois do enchimento, através de medição em perfis transversais;
- Comparação de perfis transversais nos locais de dragagem, antes e depois.

2.7. Considerações Finais

O que se expõe resulta de uma vivência de problemas que são graves e que estão abundantemente documentados ao longo de quase duas dezenas de anos. O que se propõe tem uma fundamentação científica sólida alicerçada numa vasta experiência no terreno, também abundantemente documentada.



Figura V-17 · Canal de Mira e inundações na restinga associadas a precipitação intensa (CCDR Centro).

E como desafio para o futuro: Vai-se “redesenhar” de novo a restinga e o sistema lagunar a Sul da Barra de Aveiro?

- Aceitando o avanço do mar?
- Com novas zonas húmidas?
- Com extensos perímetros de linha de água?
- Com novos ecossistemas?
- Com novos sistemas de defesa (dunas e diques, bancos submersos)?
- Com novas utilizações e ocupações recuadas?

3. Alimentação Artificial de Praias com Dragados no Algarve

3.1. Introdução

Perante um cenário de erosão costeira, são três as maneiras de enfrentar o conflito entre a dinâmica natural do litoral e a ocupação da faixa costeira. A primeira, assente na primazia dos valores naturais, aceita a evolução natural do litoral e antevê o seu recuo, programando a retirada progressiva das ocupações, sem interferir no curso dinâmico e natural. No extremo oposto, em que se privilegiam os valores da estabilidade do território emerso e da ocupação humana, a actuação é centrada na defesa activa do litoral, com a construção das, usualmente designadas, estruturas pesadas. Uma terceira forma de enfrentar a erosão costeira, tenta compatibilizar a ocupação humana com o recuo do litoral, actuando de forma ligeira e de acordo com a dinâmica do litoral em causa, como é o caso da alimentação artificial das praias. Além da atenuação da erosão costeira, a alimentação artificial de praias fornece o benefício suplementar de aumentar a capacidade de carga dos utentes do areal e, no caso de praias suportadas por arribas, fomenta a sua utilização fora das faixas de risco das vertentes.

A primeira alimentação de praias do Algarve remonta a 1970 na Praia da Rocha e envolveu a deposição de cerca de 0.9Mm^3 de areia dragada do estuário do Rio Arade, na sequência das obras de melhoramento do Porto de Portimão (Tabela V-2). Desde então e até 1996, este tipo de intervenção repetiu-se apenas três vezes: em 1983, na praia dos Três Castelos (0.45Mm^3) e na Praia da Rocha (0.1Mm^3) e, em 1992, em Alvor (0.25Mm^3). Estas operações foram executadas sempre na estreita dependência de obras portuárias, como subproduto das dragagens de melhoramento ou manutenção de canais de navegação. As praias alimentadas foram, por isso, zonas próximas das áreas portuárias e os sedimentos lançados para as praias corresponderam à reintrodução do material naturalmente subtraído da circulação sedimentar sem prévia selecção granulométrica.

A partir de 1995, na sequência da transferência da gestão da orla costeira para o Ministério do Ambiente, a alimentação artificial de praias foi encarada como opção estratégica em si mesmo, como instrumento de mitigação da erosão costeira e de valorização das praias (Teixeira, 1999a). Desde 1996 foi executada uma série de intervenções de alimentação artificial de praias e reforço dos cordões

dunares ao longo do litoral do Algarve, envolvendo mais de 5Mm³, recorrendo a manchas de empréstimo provenientes de: a) dragagens de manutenção de barras e canais de navegação b) exploração de depósitos de dragados de anteriores dragagens de estabelecimento dos portos; c) exploração de manchas de empréstimo ao largo (Tabela V-2, Figura V-18).

Tabela V-2 - Síntese das intervenções de alimentação artificial no litoral do Algarve.

Local	Data	Método	Volume (m ³)	Mancha de empréstimo	Local de deposição	Referência
Praia da Rocha (Portimão)	1970	draga	900000	estuário Rio Arade	praia	Gomes e Weinholtz (1971)
Praia da Rocha	1983	draga	100000	estuário Rio Arade	praia	Psufy e Moreira (1990)
Praia Três Castelos (Portimão)	1983	draga	450000	estuário Rio Arade	praia	Teixeira (1999a)
Praia de Alvor Nascente (Portimão)	1992	draga	250000	canal da Ria de Alvor	praia e duna	Teixeira <i>et al.</i> (2008)
Praia Três Castelos	1996	draga	480000	estuário Rio Arade	praia	Teixeira (1999a)
Praia de Alvor Nascente	1996	camião	5000	depósito de dragados Alvor	praia	Teixeira (1999a)
Praia de Alvor Nascente	1997	camião	6000	depósito de dragados Alvor	praia	Teixeira (1999a)
Praia do Lacem (Vila Real de Stº António)	1997	draga	480000	canais Ria Formosa	praia e duna	Matias <i>et al.</i> (1998)
Praia dos Tremoços (Lagoa)	1998	draga	35000	largo	praia	
Praia de Alvor Nascente	1998	camião	6000	depósito de dragados Alvor	praia e duna	Teixeira (1999a)
Praia Três Castelos	1998	draga	510000	estuário Rio Arade	praia	Teixeira (1999a)
Praia da Quarteira (Loulé)	1998	draga	70000	porto de pesca da Quarteira	praia	Teixeira (1999a)
Praia da Quarteira	1998	draga	280000	ao largo	praia	
Praia do Vale do Lobo (Loulé)	1998	draga	700000	ao largo	praia	Teixeira e Rosa (2008)
Praia Vilamoura (Loulé)	1999	draga	270000	ao largo	praia	
Ilha Cabanas	1999	draga	380000	canais Ria Formosa	praia e duna	ICN (2002)
Ilha Tavira	1999	draga	130000	canais Ria Formosa	praia e duna	ICN (2002)
Ilha Armona	2000	draga	510000	canais Ria Formosa	praia e duna	ICN (2002)
Península Ancão	2000	draga	570000	canais Ria Formosa	praia e duna	ICN (2002)
Península Cacela	2000	draga	290000	canais Ria Formosa	praia e duna	ICN (2002)
Praia D. Ana (Lagos)	2000	draga	30000	estuário Bensafrim	praia	
Praia Pintadinho, Molhe e Moiteira (Lagoa)	2001	camião	80000	depósito de dragados Arade	praia	
Praia Vale do Lobo	2006	draga	370000	largo	praia	Teixeira e Rosa (2008)
Praia de Alvor Nascente	2009	camião e draga	275000	dragados e canal da Ria de Alvor	praia e duna	
Prainha (Portimão)	2009	draga	25000	canal da Ria de Alvor	praia	

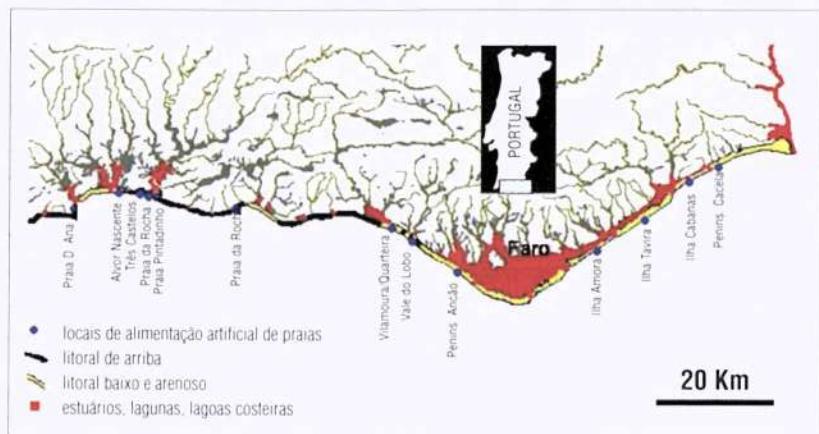


Figura V-18 - Localização das áreas submetidas a alimentação artificial a partir de dragados no litoral do Algarve.

3.2. Factores Críticos na Utilização de Dragados na Alimentação Artificial de Praias

A decisão da alimentação artificial de praias carece do conhecimento prévio das características da respectiva mancha de empréstimo. Na selecção da mancha de empréstimo existem diversos factores críticos que condicionam a possibilidade da sua utilização na alimentação artificial, dos quais os mais importantes são as características químicas e físicas dos dragados. Numa fase posterior, factores económicos como a distância entre a praia e a mancha de empréstimo, a eficiência e a eficácia do enchimento devem ser devidamente ponderados antes da decisão definitiva.

3.2.1. Qualidade dos Dragados

A qualidade química dos dragados é actualmente regulada pela Portaria nº 1450/2007 de 12 de Novembro do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Ordenamento Regional, que estabelece os parâmetros físico-químicos necessários à caracterização dos dragados. Conforme o grau de contaminação definem-se cinco classes crescentes, desde a classe 1, material dragado limpo, à classe 5, material muito contaminado (Tabela V-3). De acordo com o nº 9 da mesma Portaria, na recarga de praia e assoreamentos artificiais com vista à utilização balnear, só podem ser utilizados materiais que se insiram na classe 1.

Tabela V-3 - Classificação de materiais de acordo com o grau de contaminação: metais (mg/kg), compostos orgânicos (ug/kg). Anexo III da Portaria nº 1450/2007 de 12 de Novembro.

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Metais					
Arsénio	<20.0	20-50	50-100	100-500	>500
Cádmio	<1.0	1-3	3-5	5-10	>10
Crómio	<50.0	50-100	100-400	400-1000	>1000
Cobre	<35.0	35-150	150-300	300-500	>500
Mercúrio	<0.5	0.5-1.5	1.5-3.0	3.0-10	>10
Chumbo	<50.0	50-150	150-500	500-1000	>1000
Níquel	<30.0	30-75	75-125	125-250	>250
Zinco	<100.0	100-600	600-1500	1500-5000	>5000
Compostos orgânicos					
PCB (soma)	<5.0	5-25	25-100	100-300	>300
PAH (soma)	<300.0	300-2000	2000-6000	6000-20000	>20000
HCB	<0.5	0.5-2.5	2.5-10	10-50	>50

Em todas as intervenções de alimentação artificial de praias executadas com recurso à exploração de manchas de empréstimo ao largo verificou-se que os sedimentos presentes na zona submarina se enquadram na classe 1, evidenciando a inexistência de qualquer contaminação nessa área. O mesmo não se verifica nos dragados retirados das zonas portuárias, onde o grau de contaminação tende a aumentar para montante, relativamente à barra, atingindo com frequência a classe 2 e, por vezes, a classe 3 ou superior. A qualidade dos sedimentos é, por isso, o principal factor crítico na utilização dos dragados dos canais de navegação na alimentação artificial de praias.

3.2.2. Granulometria dos Dragados

A granulometria dos dragados é um factor crítico muito relevante na decisão da sua utilização na alimentação artificial de praias. Das intervenções executadas no Algarve verifica-se que em praias alimentadas com sedimentos compatíveis com a areia nativa ocorrem perdas entre 10 a 25% associadas ao reajustamento do perfil no primeiro semestre após a alimentação, valores que sobem para 35-50%, no caso de praias alimentadas com sedimentos mais finos do que a areia nativa. Na alimentação da praia dos Três Castelos executada em 1996, envolvendo a deposição de 480000m³ retirados do estuário do Arade, com teor de finos de cerca de 20%, dois anos depois da alimentação

artificial a praia continha apenas 5% do volume da recarga. Resultados idênticos foram obtidos por Matias *et al.* (1998) na alimentação artificial da praia do Lacém a partir de sedimentos dragados no canal de Cacela, na Ria Formosa.

Nas intervenções de alimentação artificial em que os sedimentos das manchas de empréstimo têm granulometria igual ou superior à granulometria das praias a longevidade tende a ser superior (Figura V-19). Idealmente na alimentação artificial de praias devem ser utilizadas manchas de empréstimo com granulometria igual ou superior à das praias que se pretendem carregar. A prática das intervenções no litoral do Algarve mostra ainda que dragados com um teor de finos superior a 30% não são viáveis na alimentação artificial de praias. O grande óbice de utilização de manchas de empréstimo ao largo está associado ao facto de se tratar de recursos sedimentares não renováveis, ao contrário dos sedimentos das áreas portuárias, que capturam as areias retiradas do trânsito sedimentar.

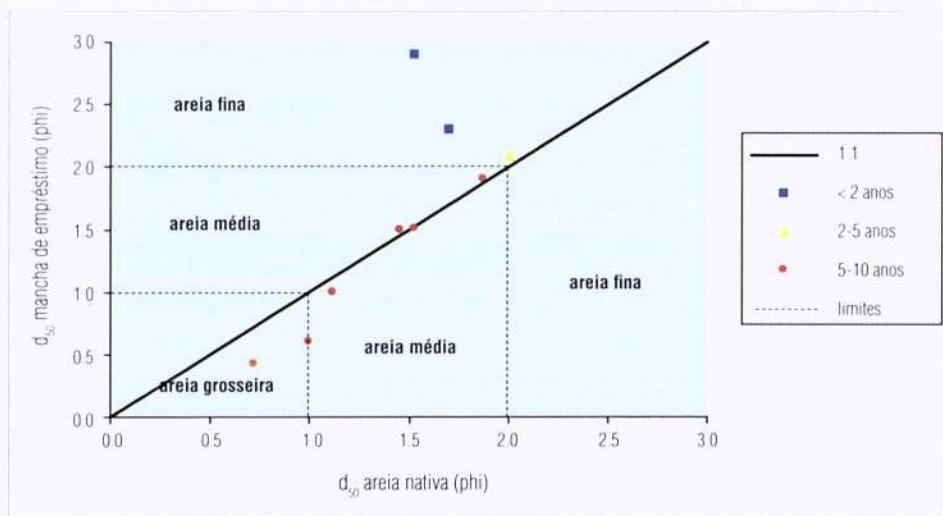


Figura V-19 - Longevidade das intervenções de alimentação artificial em praias do Algarve associadas a diferentes compatibilidades granulométricas entre os sedimentos nativos e os sedimentos das manchas de empréstimo.

A situação ideal em termos da sustentabilidade do sistema sedimentar é a alimentação artificial de praias a partir de sedimentos dragados nas barras, para alimentar as praias contidas no mesmo circuito sedimentar, usualmente com baixo grau de contaminação e granulometria compatível com a das praias contíguas. No Algarve, este tipo de enquadramento favorável existe nas barras da Ria Formosa, da Ria de Alvor e no Rio Arade.

Nos pontos seguintes apresentam-se dois casos de estudo de alimentação artificial de praias a partir da exploração de dragados no Algarve, em contextos morfológicos diversos: a praia de Alvor Nascente alimentada com materiais associados à gestão de dragados de área portuária e a praia de Vale do Lobo, com recurso à exploração de manchas de empréstimo ao largo.

3.3. Alimentação Artificial da Praia de Alvor Nascente (Portimão)

A intervenção de alimentação da praia do Alvor Nascente pretende ilustrar um exemplo de gestão de dragados de zonas portuárias, em que os sedimentos dragados na barra e canal de navegação são integralmente utilizados na recarga da praia, devolvendo-os ao circuito de circulação sedimentar. Na alimentação artificial da praia foram também utilizados os dragados existentes em depósito, resultantes das operações de estabelecimento do porto, que ocorreram no início da década de 1990.

3.3.1. Enquadramento Geológico

A baía de Lagos constitui um acidente geomorfológico notável, correspondendo, a par com a baía de Armação de Pêra, a um dos raros retalhos de litoral de acumulação do Barlavento do Algarve. Trata-se de ampla baía, ancorada nas arribas carbonatadas das pontas da Piedade e de João de Arens, onde se acumula praia contínua, ao longo de cerca de oito quilómetros, desde a Barra de Lagos, a poente, até à Praia da Rocha, a nascente. No eixo da baía, o cordão arenoso suportado por dunas litorais, corresponde à barreira do sistema lagunar da Ria de Alvor cuja comunicação com o mar é assegurada por uma barra de maré fixada com dois molhes construídos em 1992 (Figura V-20). Esta barra coincide com o limite dos concelhos de Portimão e Lagos, individualizando dois extensos areais: a praia de Alvor, a nascente, e a Meia-Praia, a poente.

A baía de Lagos é caracterizada por predomínio de fundos rochosos, com uma cobertura pelicular de areia média a fina com maior expressão junto ao litoral (Figura V-20). Os fundos rochosos da baía correspondem a resíduos de paleo-litorais quaternários, distinguindo-se duas gerações que afloram a profundidades distintas; uma primeira mais antiga, com maior expressão, domina toda a baía e prolonga-se até quase à Barra do Rio Arade, com relevos que atingem cerca de 4m de altura. Uma segunda geração mais recente e de menor expressão, aflora mais próximo do litoral, a profundidades de cerca de 6-10m (ZH), tem carácter descontínuo e assenta frequentemente sobre a plataforma de abrasão dos calcarenitos miocénicos.

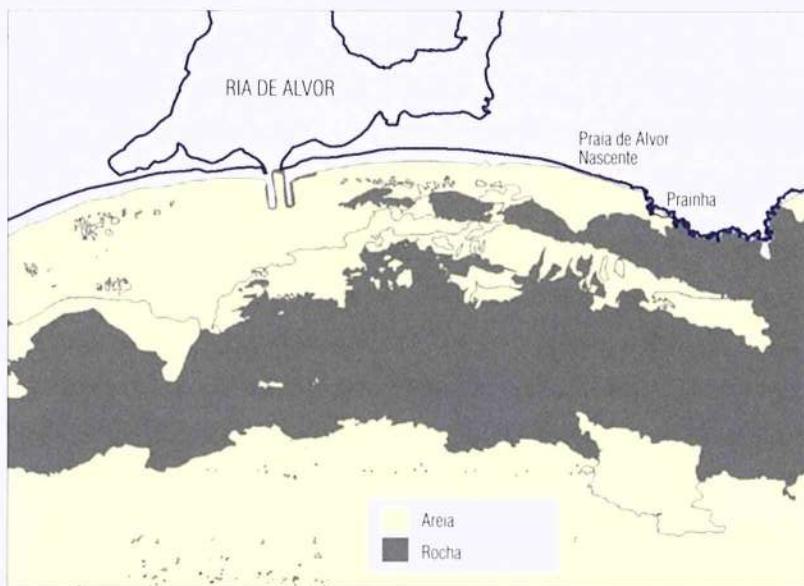


Figura V-20 - Síntese da cartografia geológica submarina da baía de Lagos.

3.3.2. Evolução da Praia de Alvor Nascente

O areal da baía de Lagos, à semelhança do areal da baía de Armação de Pêra, é sensível a alterações do clima de agitação marítima, à escala da década, sofrendo rotação pendular de que resulta ora acumulação no extremo Leste da baía e erosão no extremo oposto, ou o movimento inverso (Figura V-21).

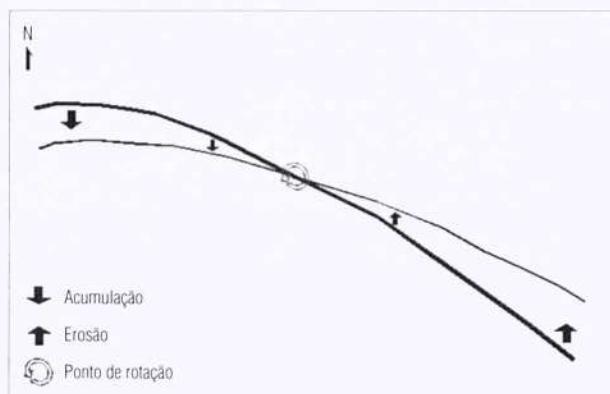


Figura V-21 - Esquema de rotação de baías associado ao rumo de SE no Algarve
(Pinto e Teixeira, 2004).

Localizada no extremo oriental da baía, na praia de Alvor Nascente, o recuo do areal está associado a agitação marítima de SE, enquanto que a agitação de SW tende a gerar o aumento do areal. Em condições de agitação de tempestade, as ondas atingem a base da duna, podendo gerar recuos instantâneos significativos, se o rumo da agitação marítima for de SE. Nas últimas décadas verificou-se um conjunto de episódios extremos de erosão, concentrados nos Invernos de 1978/79, 1989/90, 1995/96, 1996/97 e, mais recentemente, em 2007/2008 (Figura V-22 e V-25).

Com base na série de levantamentos topográficos disponíveis, foram traçados 10 perfis equidistantes de 100m (Figura V-23), para avaliar a evolução da praia de Alvor Nascente, nos últimos 30 anos. Na Figura V-24 ilustra-se a variação da localização da curva do Nível Médio do Mar (NMM = +2m ZH), ao longo do troço oriental da praia, tendo como base os perfis identificados na Figura V-23, em relação à sua posição em 1977.



Figura V-22 : Praia de Alvor Nascente em condições de preia-mar de águas vivas equinociais. (a) 28 Setembro de 2007, (cota preia-mar prevista 3.8m ZH; (b)11 de Março de 2008 (cota preia-mar prevista 3.5m ZH), após a ocorrência de tempestade de SE.



Figura V-23 - Praia de Alvor Nascente. Localização dos perfis de controle, regularmente espaçados de 100m.

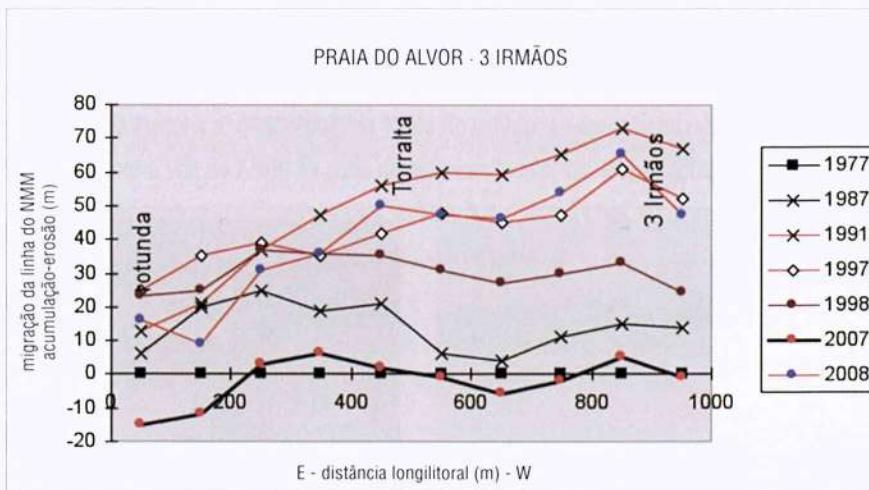


Figura V-24 - Evolução da localização da curva do nível médio do mar (NMM, +2m ZH), no troço oriental da praia de Alvor Nascente, tendo como referência a sua posição em 1977. Cada um dos pontos coincide com os perfis P1 (Este) a P10 (Oeste), identificados na Figura V-23.

Os resultados mostram claramente o efeito erosivo das tempestades registadas nos Invernos de 1989/90 (levantamento de 1991), 1995/96 e 1996/97 (levantamento de 1997) e 2007/2008 (levantamento de 2008), quando a curva do NMM recuou cerca de 50m, localizada em posições muito

próximas nos três casos. O efeito erosivo só não foi cumulativo, porque após os episódios foram executadas intervenções de alimentação artificial, com reposição dos edifícios dunares. Nesta praia foram executadas operações de enchimento artificial em Março de 1992, pela então JAPBA (hoje IPTM), envolvendo cerca de 250000m³, segundo informação de Engº Pinguinha, JAPBA, e pela então DRA Algarve (actualmente ARH Algarve) em 1996 (6000m³), 1997 (5000m³) e 1998 (30000 m³), em todos os casos a partir dos sedimentos acumulados no depósito de dragados existente na restinga de Alvor. Deste esforço de recuperação da praia de Alvor e da dinâmica pendular da baía resultou que, em 2007, a curva do NMM se localizou muito próxima da situação verificada em 1977 (Figuras V-24 e V-22a). No Inverno e Primavera de 2007/2008 uma sequência de tempestades de SE, ocorrida em Março e Abril de 2008, gerou, de novo, recuo generalizado da praia de Alvor Nascente, descobrindo a estacaria dos apoios de praia, de tal forma que a linha do NMM se aproximou da localização já verificada em Invernos tempestivos anteriores (Figura V-25).

Os resultados apresentados mostram que a praia de Alvor Nascente é ciclicamente atingida por episódios erosivos extremos, com período de retorno de cerca de uma década. As intervenções de alimentação artificial da praia e do reforço do cordão dunar periodicamente executadas têm-se mostrado eficazes na contenção do recuo e capazes de devolver, pelo menos temporariamente, a estabilidade e este troço costeiro.



Figura V-25 - Morfologias de erosão extrema na Praia de Alvor Nascente, geradas durante as tempestades registadas nos Invernos de 1996/97 e 2007/2008. Fotografias tiradas a (a) 31 Dezembro 1996 e (b) 9 Abril 2008.

3.3.3. Alimentação Artificial da Praia

Com a alimentação artificial da praia pretendeu-se reforçar mais uma vez o cordão dunar de modo a assegurar a defesa natural contra os episódios erosivos que periodicamente atingem a praia e proporcionar complementarmente o alargamento do areal. Para se conseguirem estes propósitos foram uni-

camente utilizadas manchas de empréstimo que derivam dos sedimentos existentes nesta célula de circulação sedimentar, nomeadamente os sedimentos acumulados na barra e nos canais da Ria de Alvor e ainda no depósito de dragados existente na restinga de Alvor (Figura V-26).

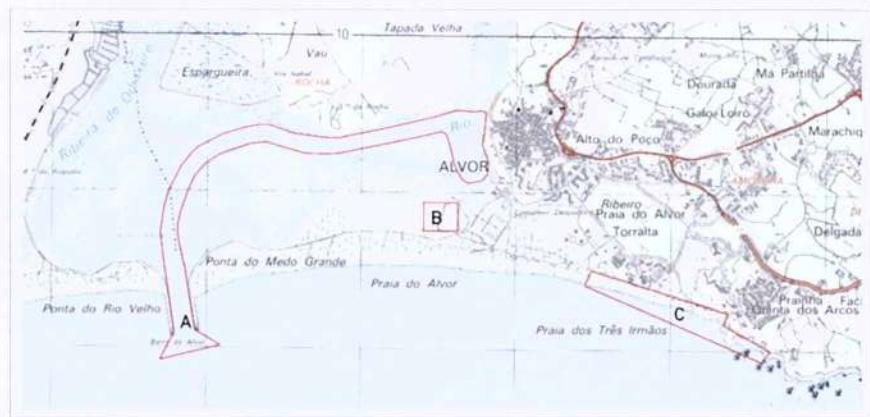


Figura V-26 Localização das áreas de intervenção. A – Canal e Barra de Alvor; B – depósito de dragados; C – praias submetidas à alimentação artificial. Base Cartográfica: folha nº 603 da Carta Militar, quadricula quilométrica.

As análises realizadas em sedimentos recolhidos nas zonas a dragar revelaram que todas se enquadram na classe 1 da Portaria nº 1450/2007, de 12 de Novembro, à excepção de uma amostra, da classe 2, localizada junto à vila de Alvor, na zona de estacionamento das embarcações. As análises granulométricas evidenciam que os calibres dos sedimentos das manchas de empréstimo ($d_{50} = 1.54\text{phi} = 0.35\text{mm}$) são ligeiramente superiores aos calibres da praia nativa ($d_{50} = 1.8\text{phi} = 0.30\text{mm}$).

Para o reforço do cordão dunar foi utilizada a mancha de empréstimo do depósito de dragados existente na restinga do Alvor, que contém areia média com pequeno teor de finos, que confere maior coesão ao sedimento, circunstância que lhe atribui maior capacidade de resistência à acção erosiva das ondas. A carga, transporte e deposição deste material, com volume de 100000m^3 na praia foi feita por via terrestre, recorrendo a maquinaria adequada (*dumpers*). Para o alargamento da praia foi utilizada a areia retirada da barra e dos canais de navegação (Figura V-27), por meio de draga, que a transportou até ao largo da praia e procedeu à sua repulsão para o areal. A intervenção resultou de um conjunto de operações, com particularidades específicas, a saber:

- Dragagem da barra e do canal de navegação da Ria de Alvor (200000m^3);
- Escavação do depósito emerso de dragados (100000m^3);
- Enchimento da praia e reforço do cordão dunar (300000m^3).

A alimentação artificial da praia de Alvor constitui um exemplo de boas práticas de gestão costeira, em particular no que respeita à gestão de dragados. O projecto foi elaborado pela Administração da Região Hidrográfica do Algarve (ARH Algarve) e o Instituto Portuário e de Transportes Marítimos (IPTM). A componente financeira nacional da obra foi repartida equitativamente pela ARH Algarve, pelo IPTM e pela CM de Portimão.



Figura V-27 - Perfil tipo de alimentação artificial da praia, com indicação da mancha de empréstimo a utilizar (depósito de dragados e barra e canal de navegação). Teixeira *et al.*, 2008.

3.4. Alimentação Artificial da Praia de Vale do Lobo (Loulé)

A alimentação artificial da praia de Vale de Lobo constitui o primeiro caso de exploração de manchas de empréstimo ao largo do Algarve, realizado em 1998. Este tipo de operação foi também executado na praia dos Tremoços, em 1998, nas praias de Quarteira e Vilamoura em 1999, e, de novo, em Vale de Lobo, em 2006 e em 2010.

3.4.1. Enquadramento Geológico

O litoral de Quarteira (Figura V-28) faz parte de célula de circulação sedimentar, que se estende desde Olhos de Água (Albufeira) até ao Cabo de Santa Maria (Faro), em que o sentido do transporte se processa de Oeste para Leste. Essa célula é alimentada e mantida, sobretudo, à custa das areias produzidas pela erosão das arribas arenosas e, secundariamente, pelos sedimentos transportados

pelas linhas de água que drenam para o litoral. A ribeira de Quarteira constitui contribuinte sedimentar notável na área de estudo, sendo responsável por cerca de 80% do débito sólido fluvial que afluui ao litoral, estimado em 200000m³/ano, dos quais cerca de 5-10% correspondem a sedimentos areno-cascalhentos (Andrade, 1990; Teixeira, 1999b). A introdução intermitente de areias no sistema assegura a permanência de um areal contínuo ao longo de todo este troço costeiro, interrompido de forma episódica ou perene, nas fozes das linhas de água que ali desaguam ou nas barras de maré do sistema de ilhas-barreira da Ria Formosa.



Figura V-28 - O litoral de Quarteira, em 20 de Julho de 2007.

A geomorfologia do litoral de Quarteira, entre a praia de Vilamoura e o Garrão, é relativamente uniforme, consistindo numa sequência de segmentos suportados por arribas talhadas em formações detritícias atribuídas ao Plio-Quaternário (Manupella, 1992), sucessivamente, de poente para nascente: Forte Novo, Trafal, Vale de Lobo e Garrão, interrompidas por barreiras arenosas que encerram as fozes das linhas de água que drenam para o litoral: as ribeiras de Almargem e Carcavai (Figura V-29). Através da comparação de documentos cartográficos e fotográficos, Marques (1997) concluiu que, desde meados do século XIX até à década de 1950, as taxas de recuo das arribas atingiram valores da ordem de 0.16-0.28m/ano. Com base num conjunto de indicadores arqueológicos, geomorfológicos e sedimentológicos, identificados na zona submarina, suportados por cerca de duas dezenas de datações radiocarbono, Teixeira (2005) pode comprovar a existência de um regime transgressivo ou retrogradante, dominante no litoral de Quarteira desde há, pelo menos, 9000 anos. Durante este

período o litoral sofreu migração total de 2 a 3Km, e mais de 600m nos últimos 2000 anos. Os dados disponíveis atestam a persistência de um regime retrogradante no litoral estudado, instalado há mais de nove milénios. Não havendo quaisquer indícios que sugiram que esta tendência de erosão seja alterada, a mesma deverá ser considerada em todos os instrumentos de ordenamento e nas práticas de gestão do litoral.

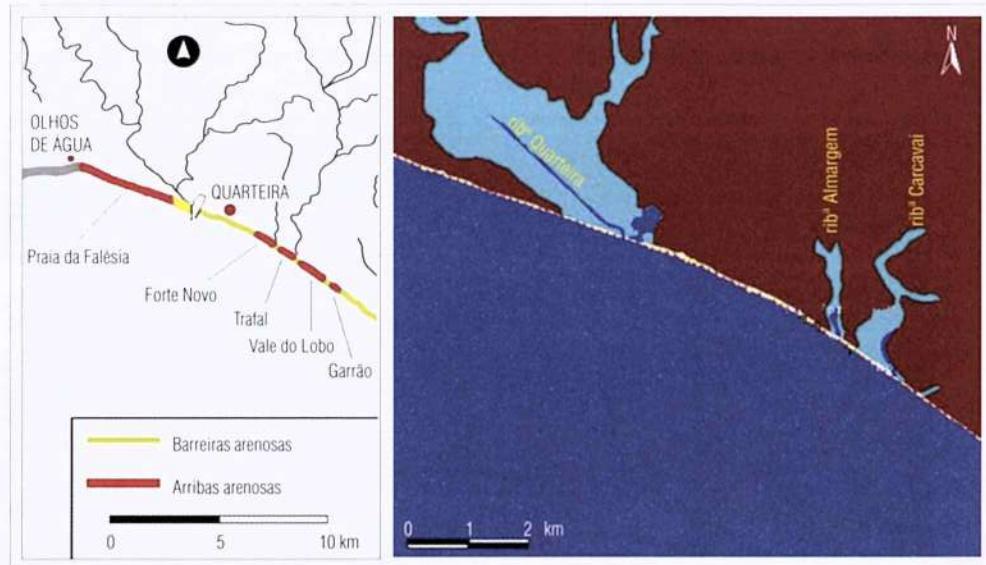


Figura V-29 - Localização da área de estudo e morfologia do litoral.

Na década de 1970 a construção dos molhes de acesso à Marina de Vilamoura desencadeou processo de alteração da dinâmica sedimentar com reflexos directos na intensidade da erosão sentida no litoral de Quarteira. A magnitude da erosão no litoral de Quarteira foi avaliada por diversos autores (veja-se, por exemplo, Marques, 1991; 1997; Correia *et al.*, 1995; Oliveira *et al.*, 2003; Oliveira, 2005) que, mediante comparação fotográfica e restituição fotogramétrica, concluíram que, anteriormente à execução das obras de engenharia costeira de Vilamoura/Quarteira, as taxas de recuo das arribas atingiram valores da ordem de 0.20-0.80m/ano, havendo sofrido aumento imediatamente após a construção daquele conjunto de estruturas de retenção. A construção dos molhes da Marina de Vilamoura, assim como do campo de esporões de Quarteira, induziu um incremento da erosão a sotamar das obras, gerando uma onda de erosão, que se propaga no sentido do transporte longilitoral (de Oeste para Leste). De acordo com os resultados publicados na bibliografia (Consulmar, 1995; Marques, 1997; Hidroprojecto, 1998), o pico de erosão (a crista da onda de erosão) foi sentido nas arribas do Forte Novo (Figura V-30) a partir de 1974, imediatamente após a construção das estruturas, passou na zona

do Trafal durante a década de 1980, varreu o litoral de Vale de Lobo entre 1983 e 1990 e atingiu o Garrão entre 1990 e 1993, reduzindo progressivamente a sua intensidade de poente para nascente. A evolução temporal das taxas de recuo da totalidade do troço costeiro entre Quarteira e o Garrão nas últimas décadas (Figura V-31) mostra claramente o efeito do incremento da erosão associado à construção das obras marítimas.



Figura V-30 · A arriba do Forte Novo, em 2 Agosto de 2006. Note-se, na zona imersa, as ruínas do forte, destruído no final da década de 1970, em consequência do recuo da arriba. No lado direito da foto, o plano de água da lagoa costeira do Almargem.

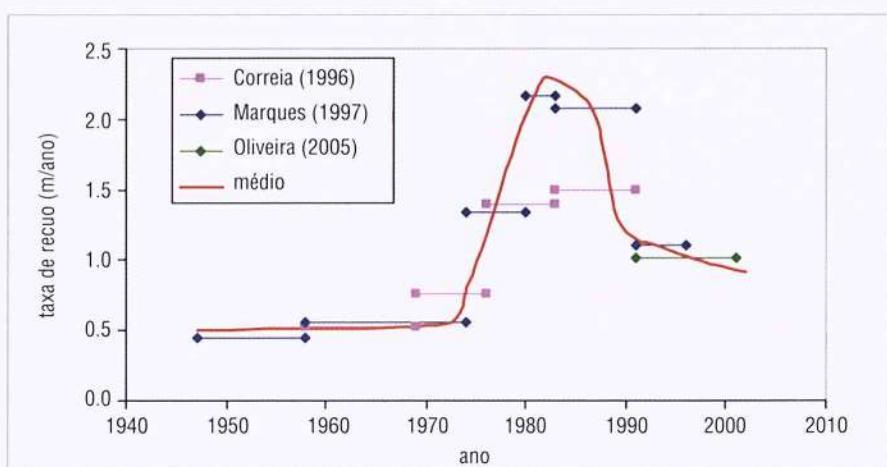


Figura V-31 · Evolução das taxas de recuo do litoral entre Quarteira e o Garrão, entre 1958 e 2001.

3.4.2. A Erosão Costeira em Vale do Lobo

O início da ocupação turística de Vale do Lobo data de 1963. Na altura, a Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos expôs as suas reservas em relação à zona em que se viria a implantar o empreendimento, em que o lote mais setentrional (lote 010) se situaria a cerca de 35m da crista arriba, recomendando explicitamente "...as edificações da beirada do mar deverão prudentemente implantar-se mais para terra...". Estas recomendações, sem carácter vinculativo, não foram tomadas em consideração e o empreendimento obteve licença para construção em 1969. Os primeiros conflitos entre a ocupação e a erosão costeira datam do início da década de 1980, quando o recuo da arriba pôs em risco a manutenção da piscina construída na zona central. Para fazer face a este problema, em 1984/85 foi construída uma obra de enrocamento, que ainda se mantém, apesar do recuo da arriba adjacente (Figura V-32). Em 1998, face à situação de ruptura eminentemente decorrente do recuo das arribas, a então Direcção Regional do Ambiente do Algarve (DRAA) enviou ofício aos proprietários dos lotes 009 e 010 alertando para a situação de risco e recomendando a suspensão de utilização das respectivas moradias. As mesmas foram demolidas em 2004 pela DRAOTA.



Figura V-32 · O enrocamento da piscina de Vale do Lobo (a) em 1985 e (b) 1995.

3.4.3. Prospecção de Manchas de Empréstimo

Face à inexistência de manchas de empréstimo passíveis de utilização na praia de Vale de Lobo em terra, e dada a distância relativamente às áreas portuárias, a prospecção foi dirigida para a zona submarina. A prospecção incluiu levantamento hidrográfico à escala 1/10000 e o varrimento com sonar

lateral geoposicionado, método eficaz na detecção de contrastes rocha/sedimento e com capacidade suplementar de diferenciação entre manchas de empréstimo com granulometria diversa (ver Secção III-2.2.2). Os resultados revelaram que a zona submarina ao largo de Quarteira-Vale de Lobo é essencialmente coberta por areia média a grosseira intercalada por afloramentos rochosos dispersos e descontínuos (Figura V-33). No sentido de confirmar os resultados decorrentes das imagens de sonar foram executadas observações *in situ*, em mergulho com escafandro autónomo, com colheita de amostras dos sedimentos superficiais e execução de sondagens manuais até 60cm de profundidade. A integração do conjunto de informação permitiu identificar vasta área, para o largo da profundidade de fecho (15m na costa Sul do Algarve, Teixeira e Macedo, 2001), com cobertura de sedimentos superficiais constituídos por areia grosseira ($d_{50} = 0.4\text{phi} = 0.76\text{mm}$), essencialmente quârtzica com baixo teor de carbonatos (<10%), passível de exploração para a alimentação artificial da praia de Vale de Lobo.

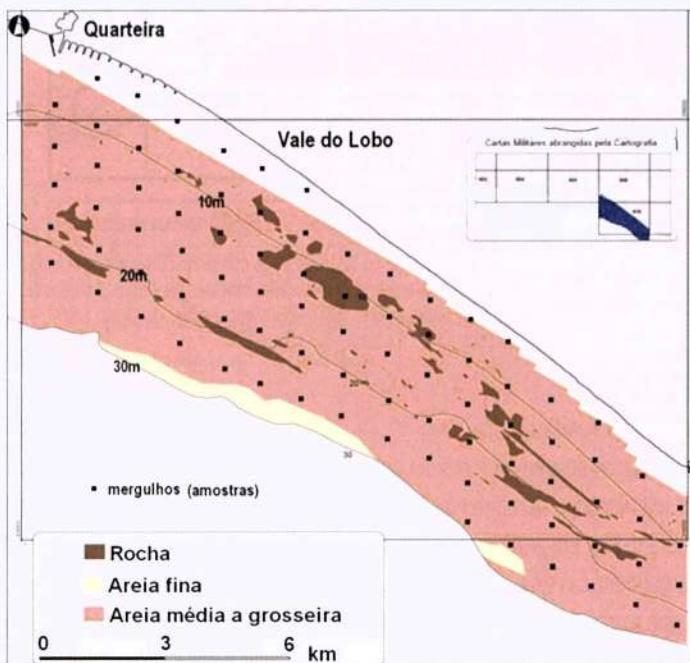


Figura V-33 - Cartografia litológica da zona submarina entre Quarteira e a Barra Nova do Ancão.

A implantação de recifes artificiais ao largo deste troço (sistemas da Oura, Vilamoura e Faro, colocados entre 1998 e 2002), tendo em vista a recuperação e incremento dos recursos pesqueiros, a cargo do Instituto das Pescas e do Mar (IPIMAR), reduziu para cerca de metade a área disponível para exploração (Figura V-34), restando uma mancha de empréstimo, que ocupa uma superfície de cerca de 9km² e que contém os recursos disponíveis para alimentação artificial de todo o troço costeiro entre Quarteira e o Ancão. Assumindo uma profundidade de exploração de 1m, idêntica à utilizada em anteriores operações, por forma a prevenir eventuais interferências com o sistema de circulação sedimentar do litoral, estima-se que os recursos disponíveis na mancha de empréstimo atingem um volume de cerca de 9 milhões de metros cúbicos de areia grosseira.

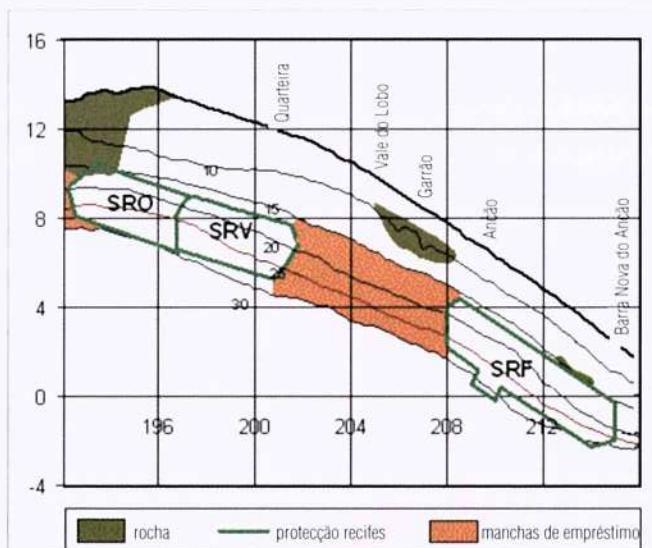


Figura V-34 - Manchas de empréstimo ao largo do troço compreendido entre Albufeira e a Barra Nova do Ancão. Eixos referentes às coordenadas militares nacionais. Batimetria em metros, relativos ao Zero Hidrográfico. SRO – Sistema Recifal da Oura; SROF – Sistema Recifal de Vilamoura; SRF – Sistema Recifal de Faro.

3.4.4. Alimentação Artificial da Praia

No sentido de localmente atenuar a erosão costeira sentida nas arribas de Vale do Lobo, foram já executadas duas intervenções de alimentação artificial da praia: uma primeira em 1998, e uma segunda em 2006 (Figura V-35). Em ambos os casos foi explorada a mancha de empréstimo ao largo de Vale de Lobo entre as batimétricas dos -15m e os -25m (ZH), que contém sedimentos com granulometria mais grosseira do que a granulometria da praia nativa, constituída por areia média/grosseira ($d_{50} = 0.75\text{phi} = 0.6\text{mm}$). As análises químicas realizadas nos sedimentos da mancha de empréstimo revelaram areias sem vestígio de contaminação e todas incluídas na classe 1 da Portaria nº1450/2007.

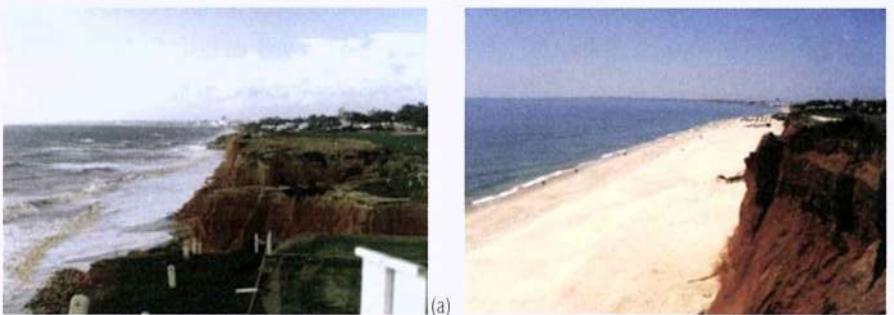


Figura V-35 - A praia de Vale de Lobo (a) sob ondulação de tempestade, a 12 de Novembro de 1996 e (b) após a alimentação artificial, a 6 de Julho de 2006.

Na Figura V-36 ilustra-se a variação temporal da largura média da praia com base numa série de seis perfis transversais controlados periódica e regularmente desde Outubro de 1987, sendo notório o incremento súbito no último trimestre de 1998, associado à alimentação artificial, quando foram depositados na praia 700000m^3 de areia dragada ao largo, uma frente de mar de 1400m. No período subsequente a esta operação, a praia foi perdendo gradualmente areia, reduzindo a sua largura, a uma taxa média de cerca de 7m/ano, retomando as condições iniciais cerca de 6 anos após a alimentação artificial.



Figura V-36 - Evolução temporal da largura da praia de Vale do Lobo entre Outubro de 1997 e Abril de 2009, baseada nos resultados de seis perfis transversais. A largura corresponde à distância entre a base da arriba e a curva do nível médio do mar (+2m ZH). A largura média representada a tracejado corresponde à largura natural da praia sem o efeito da alimentação artificial.

Em 2006, após o término do efeito protector da alimentação artificial realizada em 1998, foi executada nova operação de recarga, totalmente suportada pela empresa Vale de Lobo S. A., envolvendo a deposição de 370000m³ de areia dragada a partir da mancha de empréstimo localizada ao largo de Vale de Lobo. Esta recarga, que incidiu sobre uma frente de mar de cerca de 1100m, possibilitou o incremento médio da largura da praia em cerca de 30m. Volvidos três anos sobre esta última intervenção, a largura da praia já estava muito reduzida (Figura V-36), para o que contribuiu significativamente a sequência de tempestades com período de retorno de 10 anos registada no litoral Sul do Algarve, entre Fevereiro e Abril de 2008. O ritmo de perdas da largura da praia carregada em 2006 é idêntico ao verificado na sequência da primeira intervenção, com valores médios da ordem de 6 a 7m por ano, tendo havido a necessidade de nova realimentação em 2010.

Ana Velosa
Paulo Cachim

Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro

4. Utilização de Dragados em Materiais de Construção

4.1. Introdução

As dragagens são uma actividade fundamental e inevitável em zonas portuárias e estuarinas de forma a manter a operacionalidade de canais, rios e portos. As quantidades anuais de dragagens entre 1995 e 2005 atingiram na zona do Atlântico Nordeste (abrangendo a zona marítima da Alemanha, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Holanda, Irlanda, Islândia, Noruega, Portugal, Reino Unido e Suécia) valores entre os 100 e os 120 milhões de toneladas (peso seco) de acordo com dados do OSPAR (OSPAR, 2008). Em Portugal e apenas no ano de 2005 (IMO, 2009) foram largadas no mar quase 2.6 milhões de toneladas de dragados. Estes números dizem por si só da importância económica que esta actividade tem.

A gestão dos materiais dragados é um problema à escala mundial. A solução tradicional de largar os dragados no mar tem sido progressivamente condicionada por regulamentos nacionais e internacionais. A alternativa tradicional de os colocar em vazadouros em terra tem em geral custos elevados e requer zonas de depósito grandes, favorecendo assim o aparecimento de soluções alternativas de gestão destes materiais. De acordo com a Lista Europeia de Resíduos, adoptada em Portugal pelo Decreto Lei 209/2004 de 3 de Março, os materiais dragados são classificados como resíduos sob a secção 17 05 05 (lamas de dragagem contendo substâncias perigosas) e 17 05 06 (as restantes lamas de dragagens não contendo substâncias perigosas).

Em termos de utilização e apesar das directivas da União Europeia (OSPAR, 1992) promoverem a procura de soluções ambientalmente sustentáveis, os materiais dragados são na sua grande maioria largados de novo no mar, sendo apenas uma pequena parte destes materiais, entre 2 e 15%, utilizados de forma benéfica (OSPAR, 2008), por exemplo no controlo da erosão, aquacultura, agricultura, estabilização da linha de costa, produção de agregados ou outros produtos de construção. Devido à crescente escassez de recursos naturais e à crescente adopção de medidas de desenvolvimento sustentável adoptadas um pouco por todo o mundo e em particular na União Europeia, o uso benéfico

de dragados tem adquirido uma importância crescente. Do ponto de vista da indústria da construção, face às restrições à abertura de novas pedreiras em conjunto com a crescente procura de agregados, os materiais dragados podem ser vistos como uma nova fonte de matéria-prima. A utilização dos materiais dragados pode assim trazer grandes vantagens para a sociedade, que podem e devem ser aproveitadas pelos agentes económicos ligados ao sector da construção.

Apesar de alguns materiais dragados se encontrarem contaminados quimicamente, uma grande parte destes materiais não se encontra contaminado podendo ser utilizado directamente em trabalhos sub-aquáticos ou em terra depois de lhes ser retirada a água. A contaminação dos dragados não inviabiliza por si só a sua utilização uma vez que estes contaminantes podem ser estabilizados ou tratados de forma a adequá-los aos usos pretendidos, mas obviamente o seu tratamento encarecerá os custos de utilização. De entre as diferentes possibilidades de utilização de materiais dragados a indústria da construção aparece como das que potencialmente proporcionam maiores vantagens na sua aplicação.

Serão aqui apresentadas diversas aplicações possíveis para utilização na construção de materiais dragados, problemas associados à sua utilização, bem como um resumo do enquadramento normativo e legislativo a que estas aplicações se encontram sujeitas.

4.2. Utilização como Material para Aterros e Enchimentos

Uma das utilizações mais correntes de materiais dragados é sem dúvida a sua utilização como material para aterros e enchimentos (Krause e McDonnell, 2000; Costa-Pierce e Weinstein, 2002; Hitchcock e Bell, 2004). A caracterização dos materiais dragados tem de ser adequada à utilização que se pretende, não podendo por esse motivo definir-se tratamentos “universais” que possam ser utilizados. Os dragados provenientes de portos e barras são em geral finos, existindo contudo muitas zonas que contêm grandes quantidades de areia, podendo mesmo conter elementos de maiores dimensões. Cada diferente granulometria pode ser considerada como uma matéria-prima. Assim, os dragados mais finos, quando combinados com estabilizadores, podem ser utilizados para formar novos produtos em diversas aplicações enquanto as areias podem ser utilizadas como material para aterro ou directamente no enchimento de praias (Figura V-37).

Os materiais dragados de maiores dimensões podem ser utilizados por exemplo em bases ou sub-bases de pavimentos ou como agregados para betões. A maior parte dos materiais dragados contaminados corresponde à fracção fina pelo que as areias constituem geralmente um recurso limpo. A separação das diferentes granulometrias de materiais dragados pode ser realizada de diversas formas dependendo da utilização final, contudo, a água que estes contêm tem que ser sempre previamente

removida.

Existem diversos exemplos de utilização de dragados para aterro, como é o caso do relvado da praia da Costa Nova no concelho de Ilhavo (Figura V-38). A área desta zona é de cerca de 60000m².



Figura V-37 - Utilização de material dragado para repor níveis de areia em praias.



Figura V-38 - Zona construída em aterro proveniente de dragagens na Costa Nova (sombreada a preto e indicada com seta). Algumas zonas do porto comercial, em cima ao centro, são também aterros constituídos por material dragado).

4.3. Utilização em Pavimentos

A utilização de materiais dragados em pavimentos é uma das aplicações que apresenta maiores oportunidades devido aos enormes volumes de agregados naturais consumidos por esta actividade. Neste domínio, os materiais dragados podem apresentar características semelhantes às dos materiais correntemente utilizados quer em termos de granulometria quer em termos de performance mecânica necessária às diferentes camadas. A utilização de dragados em pavimentos pode ser realizada através da sua utilização em camadas de base e sub-base ou como agregado para betuminoso (Burchfield e Hicks, 1981; Maher *et al.*, 2003; Douglas *et al.*, 2005; Siham *et al.*, 2008; Zentar *et al.*, 2008; Dubois *et al.*, 2009; Zentar *et al.*, 2009).

Para utilizar agregados dragados finos (lamas) na construção de estradas é necessário reduzir o teor de água do material, podendo-se para o efeito utilizar um processo de decantação simultaneamente com uma melhoria da distribuição granulométrica à custa da adição de areia dragada. De acordo com Dubois *et al.* (2009) o processo de decantação permite reduzir os sais dissolvidos na água dos poros enquanto a melhoria da distribuição granulométrica permite reduzir a quantidade de ligante necessária para obter o desempenho necessário.

4.4. Utilização como Agregados para Betões e Argamassas

As dragagens são uma fonte importante de areias e agregados para construção e aterros. Os dragados utilizados como agregados para argamassas e betões podem ter como proveniência locais de dragagem específicos para este fim ou de trabalhos de dragagem necessários à manutenção da navegabilidade de portos e barras. Tal como com os restantes agregados extraídos de pedreiras existem crescentes preocupações ambientais com os agregados provenientes de dragagens, em especial com os provenientes de dragagens específicas para obtenção de agregados. No entanto, os dragados podem possuir diferentes vantagens económicas e ambientais relativamente aos agregados extraídos de pedreiras.

Um dos principais problemas associados à utilização de dragados como agregados no betão é naturalmente o seu potencial elevado teor em cloreto e consequente diminuição da durabilidade do betão armado através da criação de um ambiente propício para o aparecimento de corrosão nas armaduras. A utilização de dragados como agregados para betões e argamassas pode proporcionar algumas vantagens em relação aos agregados extraídos de pedreiras. Por exemplo, as gravilhas são genericamente mais arredondadas devido à acção do mar contribuído assim para uma maior trabalhabilidade do betão. A maior trabalhabilidade permite uma redução da razão água/cimento o que por sua vez conduz a uma maior resistência e durabilidade do betão. A forma arredondada dos agregados provenientes das dragagens confere-lhes também potencial de utilização em coberturas.

As areias dragadas têm sido utilizadas na produção de betão em diversos países europeus e em espe-

cial no Reino Unido (Dias *et al.*, 2008) bem como em diversas partes do mundo (Cho, 2006). Apesar de grande quantidade deste material ser processado (incluindo lavagem) foram também utilizadas areias não lavadas não se tendo observado problemas de durabilidade significativos nas últimas décadas. Pelo contrário, os problemas de durabilidade registados no Reino Unido, onde cerca de 11% da areia utilizada no betão provém do fundo do mar, são fundamentalmente devidos à utilização de cloreto de cálcio como acelerador e também devido à utilização de sais de degelo. Os estudos existentes (Dias *et al.*, 2008) parecem indicar que a utilização de areias provenientes de praias ou zonas costeiras, e que portanto se encontram sujeitas à evaporação e à salinização proveniente do *spray* marítimo, são pelo contrário desaconselhadas para utilização como agregados sem tratamento prévio, existindo casos relatados no médio oriente de aparecimento de corrosão das armaduras muito precoce.

Os métodos de tratamento existentes para os dragados tornam-nos adequados para a produção de betão uma vez que os metais pesados eventualmente contidos nestes agregados ficam quimicamente encapsulados não sendo extraídos por lixiviação (Meyer, 2009), contudo, a utilização particular de cada tipo de dragados requer a realização de estudos específicos.

Existem resultados (Brouwers *et al.*, 2007) de que o tratamento com cimento e cal viva permite estabilizar os componentes contaminantes não permitindo a sua lixiviação. A utilização simultânea do cimento e da cal viva é fundamental porque o cimento tem efeitos negativos na lixiviação de sulfatos, fluoretos e zinco, o que é compensado pela adição da cal viva.

Os materiais finos provenientes de dragagens, siltos, podem ser processados de forma a constituírem matéria-prima para a produção de agregados leves para betão (AZoM, 2004; Wang and Tsai, 2006; Wang, 2009). O aspecto dos agregados leves produzidos de acordo com o processo desenvolvido pelo Brookhaven National Laboratory (AZoM, 2004) é apresentado na Figura V-39.



Figura V-39 - Agregados leves produzidos por processamento de materiais dragados (AZoM, 2004).

4.5. Utilização como Matéria-Prima para Tijolos e Blocos

Uma possível alternativa para os dragados consiste na sua utilização como matéria-prima para a produção de tijolos e blocos. Diversos tipos de resíduos foram já utilizados na produção de tijolos como é por exemplo o caso das cinzas volantes, pó de aço, lamas da produção de papel, cinzas de incineradoras ou outras escórias. O tratamento com cimento e cal viva, conforme anteriormente referido, permite estabilizar os contaminantes das lamas de dragagem e favorecer a sua utilização na produção de tijolos (Brouwers *et al.*, 2007).

Os materiais de construção têm de obedecer às normas respectivas bem como às exigências relativas à saúde humana e ao ambiente. Apesar das normas para os materiais de construção se encontrarem relativamente bem definidas, existem ainda algumas indefinições associadas aos requisitos relativos aos testes de lixiviação para avaliação do impacto ambiental. Apesar de todas as indefinições e problemas eventualmente associados a sua produção, a realização de tijolos com materiais dragados aparece como uma técnica perfeitamente viável para a valorização destes materiais (Karius e Hamer, 2001; Hamer e Karius, 2002; Lafhaj *et al.*, 2008; Samara *et al.*, 2009). Um possível esquema de produção destes tijolos encontra-se na Figura V-40 (Hamer e Karius, 2002).

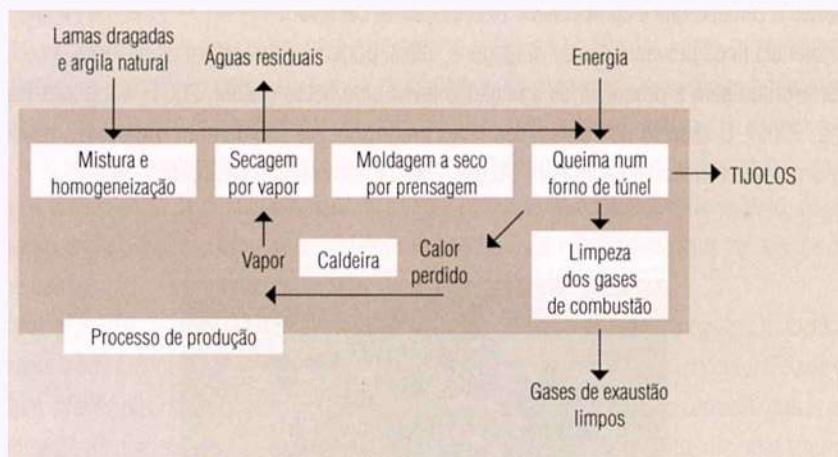


Figura V-40 - Esquema do processo de produção de tijolos (Hamer and Karius, 2002).

4.6. Classificação dos Agregados (Normalização)

A utilização de dragados como agregados em betões, argamassas e misturas betuminosas deve seguir as especificações normativas conforme a Tabela V-4.

Tabela V-4 · Normas relativas à utilização de agregados em aplicações de construção civil.

Utilização prevista	Norma
Betão	NP EN 12620 + A1 Agregados para betão
Argamassas	NP EN 13139 Agregados para argamassa
Misturas betuminosas	NP EN 13043 Agregados para misturas betuminosas e tratamentos; superficiais em estradas, aeroportos e outras áreas sujeitas à acção de tráfego
Várias	NP EN 13242 Agregados para materiais granulares não tratados e para materiais com ligantes hidráulicos para utilização em trabalhos de engenharia civil e construção de estradas
Enrocamentos	EN 13383-1 Agregados para enrocamentos
Balastros de vias férreas	NP EN 13450 Agregados para balastros de vias férreas
Agregados leves	NP EN 13055-1 Agregados leves para betão, argamassas e grout

4.6.1. Agregados para Betão

A norma NP EN 12620 (IPQ, 2008) regula as propriedades de agregados com massa volúmica seca superior a 2000kg/m³ para utilização em betão para aplicação conforme a norma NP EN 206-1 ou para construção de estradas, pavimentos ou utilização na indústria de pré-fabrico. Nas Tabelas V-5 e V-6 encontram-se discriminados os ensaios aplicáveis aos agregados assim como a sua frequência mínima.

A norma relativa a agregados para betão especifica a sua classificação tendo em conta requisitos granulométricos, físicos e químicos. A classificação geométrica por categorias dos agregados tem em conta a sua dimensão (*filler*, agregado fino, agregado grosso, agregado com distribuição contínua) e requisitos - distribuição granulométrica, forma, conteúdo de conchas, percentagem e qualidade dos finos. Estes requisitos e as respectivas categorias estão patentes na Tabela V-7.

Tabela V-5 · Ensaios aplicáveis e frequência mínima (NP EN 12620) – propriedades gerais.

Ensaios	Norma aplicável	Frequência mínima
Granulometria	EN 993-1 / EN 933-10	1 por semana
Formas das partículas do agregado grosso	EN 933-3 / EN 933-4	1 por mês
Teor de finos	EN 933-1	1 por semana
Qualidade dos finos	EN 933-8 / EN 933-9	1 por semana
Massa volúmica e absorção de água das partículas	EN 1097-6	1 por ano
Reacção alcalis-sílica	-	Quando requerido
Descrição petrográfica	EN 932-3	1 por 3 anos
Contaminantes	-	Quando requerido

Tabela V-6 · Ensaios aplicáveis e frequência mínima (NP EN 12620) – propriedades específicas.

Ensaios	Norma aplicável	Frequência mínima
Resistência à fragmentação	EN 1097-2	2 por ano
Resistência ao desgaste	EN 1097-1	1 por 2 anos
Resistência ao polimento	EN 1097-8	1 por 2 anos
Resistência ao desgaste por abrasão superficial	EN 1097-8	1 por 2 anos
Resistência ao desgaste por abrasão de pneus com correntes	EN 1097-9	1 por 2 anos
Resistência ao gelo/degeló	EN 1367-1/2	1 por 2 anos
Teor em cloreto	EN 1744-1	1 por 2 anos
Teor em carbonato de cálcio	EN 1744-1 / EN 196-2	1 por 2 anos

Tabela V-7 · Requisitos geométricos conforme a norma NP EN 12620.

Requisito	Avaliação efectuada	Categoria
Granulometria	Análise granulométrica	G
Forma	Índice de achatamento / Índice de forma	FI / SI
Teor em conchas	Percentagem em massa	SC
Teor em finos	Passados peneiro 0.063 mm	f

A nível granulométrico a norma NP EN 12620 estabelece requisitos adicionais divididos por tipo de agregado e visando uma classificação granulométrica incluindo distribuições tipificadas e tolerâncias admissíveis (IPQ, 2008). Tendo em conta a classificação de parâmetros físicos, a norma estabelece requisitos relativos à resistência à fragmentação, impacto, desgaste, polimento e abrasão para agregado grosso conforme especificado na Tabela V-8. Neste campo é adicionalmente referida a possibilidade de determinação da massa volúmica (aparente e real) assim como da absorção de água, sempre que tal se justifique. Os requisitos físicos englobam os requisitos de durabilidade que exigem desempenho ao nível da resistência às acções gelo-degeló e ao sulfato de magnésio. A verificação da estabilidade volumétrica e da reactividade alcalis-sílica serão parâmetros a medir em caso de necessidade.

Os requisitos químicos a respeitar por agregados para utilização em betão têm em conta o teor em

cloreto (sempre que requerido), o teor em sulfatos (solúvel e total) classificado pela categoria AS e o conteúdo em matéria orgânica ou outras substâncias que interfiram com o tempo de presa e a resistência à compressão (medida aos 28 dias).

Tabela V-8 · Requisitos físicos conforme a norma NP EN 12620.

Requisito	Avaliação efectuada	Categoría
Resistência à fragmentação	Coeficiente de Los Angeles	LA
Resistência ao impacto	Valor de impacto (%)	SZ
Resistência ao desgaste	Ensaio micro-Deval	MDE
Resistência ao polimento	Valor polimento pedra	PSV
Resistência à abrasão superficial	Valor máximo de resistência abrasão superficial	AAV
Resistência à abrasão de pneus com correntes	Valor nórdico de abrasão	AN
Resistência gelo-degelo	Perda de massa (%)	F
Resistência à acção do sulfato de magnésio	Perda de massa (%)	MS

4.6.2. Agregados para Argamassas

Os requisitos de agregados para utilização em argamassa encontram-se especificados na norma NP EN 13139 (IPQ, 2005b), que estabelece categorias para características geométricas, físicas e químicas de agregados a aplicar em argamassas para pavimentos, juntas, revestimento exterior e interior, reparação e grout, entre outros. Esta norma prevê a utilização de agregados em argamassas em aplicações em edifícios, arruamentos e obras de engenharia civil. Os requisitos, a norma relativa ao ensaio a realizar e a periodicidade mínima encontram-se estipulados na Tabela V-9.

A nível granulométrico são estabelecidas classes e respectivas tolerâncias para agregado fino e grosso e *fillers*. Apenas a forma das partículas do agregado grosso ($d_{max} \geq 4\text{mm}$) é relevante para a incorporação em argamassas, encontrando-se estabelecidos limites para o teor de finos consoante o uso final da argamassa (reboco, betonilha e outros). A determinação da absorção de água e da massa volúmica são necessárias para a caracterização dos agregados para argamassa enquanto o ensaio ao gelo-degelo só é efectuado mediante requisição. A determinação da percentagem de matérias solúveis em água, assim como a perda por ignição são apenas aplicáveis a agregados artificiais.

Tabela V-9 · Ensaios aplicáveis e frequência mínima (NP EN 13139)

Ensaios	Norma aplicável	Frequência mínima
Granulometria	EN 993-1	1 por semana
Teor de conchas	EN 933-7	1 por ano
Teor de finos	EN 933-1/8/9	1 por semana
Massa volémica e absorção de água das partículas	EN 1097-6	Quando requerido
Teor em cloreto	EN 1744-1	1 por 2 anos / 1 por semana para agregados provenientes do mar
Teor em sulfatos	EN 1744-1	1 por ano
Compostos contendo enxofre	EN 1744-1	1 por ano
Constituintes que alteram o tempo de presa e a resistência da argamassa	EN 1744-1	Quando requerido
Materias solúveis em água	EN 1744-1	Quando requerido
Perda por ignição	EN 1367-1/2	Quando requerido
Reacção alcalis-sílica	-	Quando requerido
Resistência ao gelo/degelado	EN 1367-1/2	Quando requerido
Contaminantes	-	Quando requerido

4.6.3. Agregados para Materiais Granulares não Tratados e para Materiais com Ligantes Hidráulicos para Utilização em Trabalhos de Engenharia Civil e Construção de Estradas

A norma NP EN 13043 (IPQ, 2004) especifica as propriedades requeridas a agregados e *fillers* para incorporação em misturas betuminosas e tratamento superficial de estradas, aeroportos e outras zonas sujeitas a tráfego. A norma divide-se em requisitos para agregados finos e grossos e requisitos para *filler*, englobando em ambos os casos propriedades físicas e químicas e características geométricas. Os ensaios aplicáveis para os dois casos estão discriminados na Tabela V-10 e na Tabela V-11, com as respectivas frequências mínimas de ensaio.

A caracterização geométrica de agregados finos e grossos para aplicação em misturas betuminosas é similar à caracterização utilizada no caso de betão (NP EN 12620) especificada na Tabela V-7, incluindo as categorias G, F1, S1 e f. Contudo, para este tipo de utilização não existe necessidade de determinar o teor em conchas. Os requisitos adicionais desta norma prendem-se com a qualidade do material fino empregue, determinada pelo ensaio de Azul de Metileno (categoria MBF), com o teor de partículas com superfície esmagada ou partida (categoria C) e com a forma dos agregados finos pelo ensaio de escoamento (categoria Ecs).

Tabela V-10 · Ensaios aplicáveis a agregados finos e grossos e frequência mínima (NP EN 13043).

Ensaios	Norma aplicável	Frequência mínima
Granulometria	EN 933-1	1 por semana
Teor de finos	EN 933-1	1 por semana
Qualidade dos finos	EN 933-9	2 por ano
Forma dos agregados grossos	EN 933-3 / EN 933-4	1 por mês
Percentagem de partículas esmagadas, partidas ou arredondadas	EN 933-5	1 por mês
Forma dos agregados finos	EN 933-5	1 por mês
Resistência à fragmentação do agregado grosso	EN 1097-2	1 por ano
Resistência ao desgaste	EN 1097-1	1 por ano
Massa volêmica das partículas	EN 1097-6	1 por 2 anos
Absorção de água e resistência gelo/degeló	EN 1097-6 / EN 1367-1	1 por 2 anos
Resistência ao choque térmico	EN 1367-5	1 por ano
Afinidade com ligantes betuminosos	EN 12697-11	1 por ano
Composição química	EN 932-3	1 por 5 anos
Contaminantes leves	EN 196-2	1 por ano
Substâncias perigosas	EN 1744-1	Quando requerido

Tabela V-11 · Ensaios aplicáveis a *filler* e frequência mínima (NP EN 13043).

Ensaios	Norma aplicável	Frequência mínima
Granulometria	EN 933-10	1 por semana
Teor de finos	EN 933-9	2 por ano
Teor de água	EN 1097-5	2 por semana
Massa volêmica das partículas	EN 1097-7	2 por ano
Propriedades em seco	EN 1097-4 / EN 13179-1	2 por ano
Solubilidade em água	EN 1744-1	1 por 2 anos
Susceptibilidade à água	EN 1744-4	1 por 2 anos
Conteúdo em carbonato de cálcio	EN 196-21	1 por ano
Conteúdo em hidróxido de cálcio	EN 459-2	1 por ano
Consistência produção	Várias	1 por semana

Para agregados finos e grossos, os requisitos físicos e de durabilidade abrangem todas as categorias assinaladas na Tabela V-10 e adicionalmente o estabelecimento de categorias classificando os

agregados quanto ao seu valor máximo de absorção de água (categoria M_{24}). Sempre que se revelar necessário, será obrigatório proceder à determinação da resistência ao choque térmico e da afinidade dos agregados às misturas betuminosas. A determinação da composição e da percentagem de contaminantes deve ser determinada quando necessário.

Os requisitos normativos para fillers diferem dos anteriores, encontrando-se estabelecida a possibilidade de determinação do teor em finos, o conteúdo de água (menos do que 1% em massa), a percentagem de vazios do filler seco compactado (categoria v) e a sua afinidade com materiais betuminosos (categoria $\Delta_{R&B}$). A nível químico os principais requisitos prendem-se com a solubilidade em água (categoria WS), susceptibilidade à água e avaliação do conteúdo em filler calcário (categoria CC) e em hidróxido de cálcio (categoria Ka). A produção de *filler* é sujeita a controlo de forma a avaliar a sua consistência, englobando a determinação, entre outros, da perda ao rubro e da superfície específica Blaine.

4.6.4. Agregados para Utilização em Trabalhos de Engenharia Civil e Construção de Estradas

A norma NP EN 13242 (IPQ, 2005c) aplica-se a agregados obtidos pelo processamento de materiais naturais, artificiais ou reciclados destinados à utilização em materiais tratados com ligantes hidráulicos ou como materiais não ligados em aplicações em obras de engenharia civil e construção rodoviária.

A Tabela V-12 especifica quais os ensaios a efectuar a estes materiais, as normas aplicáveis e a regularidade exigida para os ensaios. Os requisitos normativos englobam requisitos geométricos, físicos químicos e de durabilidade. As características geométricas dos agregados determinam a sua classificação conforme as categorias indicadas na Tabela V-13. Quando o teor em finos for superior a 3% podem ser requeridos ensaios adicionais (equivalente de areia, azul de metileno, desempenho comparativo). Como requisitos físicos aplicados ao agregado grosso ($d_{min} \geq 1\text{mm}$ e $d_{max} > 2\text{mm}$) são avaliadas a resistência à fragmentação pelo Ensaio de Los Angeles (categoria LA) e também a resistência ao desgaste por atrito (categoria M_{DE}). A massa volúmica e a absorção de água das partículas devem ser avaliadas e declaradas. Quando requerido, deve ser avaliada a resistência à fragmentação por impacto conforme a norma EN 1097-2 (categoria SZ).

A nível químico, a classificação dos agregados para este tipo de utilização tem como base o teor de sulfatos solúveis em ácido (categoria AS), o teor de enxofre total (S) e a presença de matéria orgânica, que será avaliada tendo em conta limites pré-estabelecidos relativos a atrasos provocados no tempo de presa e diminuição da resistência mecânica.

A durabilidade dos agregados, segundo a norma NP EN 13242 (IPQ, 2005c), é avaliada principalmente

pela resistência ao fenómeno gelo-degelo, através de limites máximos de absorção de água (categoria W_{A24}) e perda de massa em ensaio de ciclos gelo-degelo (categoria F).

Tabela V-12 · Ensaios aplicáveis e frequência mínima (NP EN 13242).

Ensaios	Norma aplicável	Frequência mínima
Granulometria	EN 993-1	1 por semana
Forma do agregado grosso	EN 933-3 / EN 933-4	1 por mês
Percentagem de partículas esmagadas	EN 933-5	1 por mês
Teor de finos	EN 933-1	1 por semana
Qualidade dos finos	EN 933-8 / EN 933-9	1 por semana
Resistência à fragmentação	EN 1097-2	2 por ano
Resistência ao desgaste por atrito	EN 1097-1	2 por ano
Massa volumica das partículas	EN 1097 -6	1 por ano
Absorção de água	EN 1097 - 6	1 por ano
Constituintes que alteram o tempo de presa e a resistência das misturas tratadas com ligantes hidráulicos	EN 1744-1	1 por ano para cada constituinte
Resistência ao gelo-degelo	EN 1097-6/EN 1367-1 / EN 1367-2	1 por 2 anos
Substâncias perigosas		Quando requerido

Tabela V-13 · Requisitos geométricos conforme a norma NP EN 13242

Requisito	Avaliação efectuada	Categoria
Granulometria	Análise granulométrica	G
Dimensão	Relação d_{\max}/d_{\min}	GT
Forma	Índice de achatamento / Índice de forma	FI / SI
Partículas esmagadas	Percentagem em massa	C
Teor finos	Passados peneiro 0.063	f

4.6.5. Agregados para Enrocamentos ou para Balastros de Vias Férreas

A norma EN 13383-1 regula as características de agregados para enrocamentos e a norma NP EN 13450 (IPQ, 2005d) estabelece os critérios relativos a agregados para balastros de vias férreas. A Tabela V-14 resume os ensaios exigidos e as normas aplicáveis para cada uma destas utilizações.

Tabela V-14 · Ensaios aplicáveis e frequência mínima (EN 13383-1 e NP EN 13242).

Ensaios / norma	EN 13383-1	NP EN 13450
EN 933-1 Análise granulométrica	-	x
EN 932-3 Descrição petrográfica	x	-
EN 933-3 Forma das partículas. Índice de achatamento	x	x
EN 933-4 Forma das partículas. Índice de forma	-	x
EN 1097-1 Resistência ao desgaste (micro-Deval)	x	x
EN 1097-2 Resistência à fragmentação	-	x
EN 1097-6 Massa volúmica e absorção de água	-	x
EN 1367-1 Resistência ao gelo/degelado	-	x
EN 1367- 2 Ensaio do sulfato de magnésio	x	x
EN 1744-1 Análise química	x	-
EN 1744-3 Água solúvel constituinte	x	-
EN 1926 Resistência ao partir	x	-
EN 13383-2 Vários (granulometria, massa, densidade...)	x	-

4.6.6. Agregados Leves

Os agregados leves produzidos a partir de material proveniente de dragagens devem seguir os requisitos geométricos, físicos (teor de humidade, massa volúmica e absorção de água) e químicos estipulados na norma NP EN 13055-1 (IPQ, 2005a).

4.7. Considerações Finais

Pretendeu-se dar uma panorâmica das possíveis aplicações para os materiais dragados em Portugal de forma a permitir uma racionalização de todo o processo e sugerir possíveis formas de valorização deste produto quando encarado como matéria-prima para a indústria da construção, contribuindo desta forma para a sustentabilidade desta actividade.

As normas para utilização de agregados em diversas aplicações no âmbito da construção civil estabelecem requisitos granulométricos, físicos, químicos e de durabilidade, alguns deles comuns. Contudo, estes requisitos permitem fundamentalmente dotar os agregados de classificações por categorias de forma a aferir qual ou quais as utilizações mais indicadas para cada caso. Para a utilização de material proveniente de dragados será necessário desenvolver uma campanha de ensaios que permita avaliar quais as características médias deste tipo de material, avaliando de entre as inúmeras aplicações possíveis, quais as mais adequadas.

Apesar de os materiais dragados poderem ter um largo espectro de utilização e de valorização económica, devem ter-se especiais cuidados no que se refere ao equilíbrio e protecção do meio ambiente. É aconselhável que para caso concreto se façam os estudos necessários de forma a garantir uma exploração sustentável deste recurso.

- Ackers C., White W.R. (1973). "Sediment Transport: a New Approach and Analysis"; *Journal of Hydraulics Division, ASCE*, 99, 2041-2060.
- Amorim I. (2008). "Porto de Aveiro: Entre a Terra e o Mar. Edição comemorativa dos duzentos anos da abertura da barra". APA - Administração do Porto de Aveiro, 227pp.
- Andrade C. F. (1990). "O Ambiente de Barreira da Ria Formosa (Algarve-Portugal)". Depto. de Geologia da Faculdade Ciências Lisboa, Lisboa, 645pp.
- Andrade C., Pires H.O., Silva P., Taborda, R., Freitas M.C. (2006). "Zonas Costeiras". In: Santos F.D., Miranda P., (eds.) *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação*, Gradiva, Lisboa, 169-206.
- AZoM (2004). "New Technology That Converts Dredged Material Into Construction-Grade Cement". Consultado a 22-5-2009, 2009, em <http://www.azom.com>.
- Bagnold R.A. (1966). "An Approach to the Sediment Transport Problem from General Physics"; *Geological Survey Professional Paper*, 422-1.
- Bender C.J., Dean R.G. (2003). "Wave field modification by bathymetric anomalies and resulting shoreline changes: a review with recent results". *Coastal Engineering* 49, 125-153.
- Bertin X., Oliveira A., Fortunato A.B. (2009). "Simulating morphodynamics on unstructured grids: description and validation of a modeling system for coastal applications". *Ocean Modelling*, DOI: 10.1016/j.ocemod.2008.11.001.

Birkemeier W.A. (1985). "Field Data on Seaward Limit of Profile Change"; *Journal of Waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 111(3), 598-602.

Blondel P. (2009). The Handbook of Sidescan Sonar, Springer-Praxis, 311pp.

Brouwers H.J.H., Augustijn D.C.M., Krikke B., Honders A. (2007). "Use of cement and quicklime to accelerate ripening and immobilize contaminated dredging sludge". *Journal of Hazardous Materials* 145(1-2): 8-16.

Bruun P. (1954). "Coastal Erosion and Development of Beach Profiles"; Technical Memorandum n. 44, Beach Erosion Board, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, 79pp.

Bruun P. (1962). "Sea-level Rise as a Cause of Shore erosion"; *Journal of the Waterways and Harbors Division*, ASCE, Vol. 88, 117-130.

Burchfield R., Hicks R.G. (1981). "Upgrading Marginal Aggregates for Road Construction Along the Oregon Coast", Oregon State University: 13.

Carvalho F. (2003). "Elementos do clima de agitação marítima no grupo central dos Açores", Instituto de Meteorologia, Lisboa, 97pp.

Chang Y.C., Hsu S.K., Tsai C.H. (2010). "Sidescan Sonar Image Processing: Correcting Brightness Variation and Patching Gaps". *Journal of Marine Science and Technology*, 18, 785-789.

Chavez P.S., Isbrecht J., Galanis P., Gabel G.L., Sides S.C., Soltesz D.L., Ross S.L., Velasco M.G. (2002). "Processing, mosaicking and management of the Monterey Bay digital sidescan-sonar images". *Marine Geology*, 181, 305-315.

Chesher T., Soulsby R.L., Foley W.J. (2005). "Scenario Testing Approach and Results for Sand Mining Pits". In van Rijn L., Soulsby R., Hoekstra P., Davies A.G. (eds.), *SANDPIT – Sand Transport and Morphology of Offshore Sand Mining Pits*. Aqua Publications, The Netherlands, ISBN 90-800356-7-X, p.AT 1-10

Cho D.O. (2006). "Challenges to sustainable development of marine sand in Korea". *Ocean & Coastal Management* 49(1-2): 1-21.

Cobra D.T., Oppenheim A.V., Jaffe J.S. (1992). "Geometric Distortions in Side-Scan Sonar Images: a

Procedure for their Estimation and Correction". *IEE Journal Of Oceanic Engineering*, 17, 252-268.

Coelho C. (2005). "Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira", Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 404pp.

Collier J.S., Brown C.J. (2005). "Correlation of sidescan backscatter with grain size distribution of surficial seabed sediments". *Marine Geology*, 214, 431-449.

Consulmar (1995). "Impacte da construção do novo porto de pesca no trânsito aluvionar e na configuração das praias". Estudos Complementares. Relatório Preliminar, (não publicado) 32pp.

Cooper K., Boyd S., Eggleton J., Limpenny D., Rees H., Vanstaen K. (2007). "Recovery of the Seabed Following Marine Aggregate Dredging on the Hastings Shingle Bank off the Southeast Coast of England". *Estuarine Coastal and Shelf Science*, vol. 75, 547-558.

Correia F., Dias J.A., Boski T. (1995). "Determinação do recuo das arribas situadas a oriente de Quarteira por reconstituição fotogramétrica: Evolução entre 1958 e 1991". Com. 8º Congresso Algarve, 405-411.

Costa-Pierce B.A., Weinstein M.P. (2002). "Use of dredge materials for coastal restoration". *Ecological Engineering* 19(3): 181-186.

Cowell P.J., Hanslow D.J., Meleo J.F. (1999). "The Shoreface"; in Short A.D. (eds.), *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*, University of Sydney, Australia, 39-71.

Damuth J.E. (1980). "Use of high-frequency (3.5-12kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review". *Marine Geology*, 38: 51-75.

Damuth J.E., Hayes D.E. (1977). "Echo character of the east Brazilian continental margin and its relationship to sedimentary processes". *Marine Geology*, 24: 73-95.

Davis K. S., Slowey N.C., Stender I.H., Fiedler H., Bryant W.R., Fechner G. (1996). "Acoustic backscatter and sediment textural properties of inner shelf sands, northeastern Gulf of Mexico". *Geo-Marine Letters*, 16, 273-278.

de Kruijf H.A.M., de Zwart D., Viswanathan P.N., Ray P.K. (eds.). (1988). "Manual on Aquatic Ecotoxicology".

Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. 33pp. ISBN 0-7923-0177-3.

Dean R.G. (1977). "Equilibrium Beach Profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coasts"; Department of Civil Engineering, Ocean Engineering Report n. 12, University of Delaware, 45pp.

Dean R.G., Kriebel D., Walton T. (2002). "Cross-Shore Sediment Transport Processes"; in Walton T. (eds.) *Coastal Engineering Manual, Part III, Coastal Sediment Processes, Chapter III-3*, EM 1110 2 1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 79pp.

Demir H., Otay E.N., Work P.A., Borekci O.S. (2004). "Impacts of dredging on shoreline change". *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 130(4), 170-178.

Dias W.P.S., Seneviratne G.A.N., Nanayakkara, S.M.A. (2008). "Offshore sand for reinforced concrete." *Construction and Building Materials* 22(7): 1377-1384.

Diesing M., Schwarzer K., Zeiler M., Klein H. (2006). "Comparison of marine sediment extraction sites by means of shoreface zonation". *Journal of Coastal Research*, SI39, 783-788.

Douglas S., Maher A., Jafari, F. (2005). "Analysis of Environmental Effects of the Use of Stabilized Dredged Material from New York/New Jersey Harbor, USA, for construction of Roadway Embankments." *Integrated Environmental Assessment and Management* 1(4): 9.

Duarte H., Pinheiro L.M., Teixeira F.C., Monteiro J.H. (2007). "High-resolution seismic imaging of gas accumulation and seepage in the sediments of the Ria de Aveiro barrier lagoon (Portugal)". *Geo-Marine Letters*. 27, 2-4, 115-128.

Dubois V., Abriak N.E., et al. (2009). "The use of marine sediments as a pavement base material". *Waste Management* 29(2): 774-782.

EMEPC (2008). "Dados de batimetria multifeixe do bordo da plataforma e do talude da ilha do Faial" (não publicado).

Engelund F., Hansen E. (1967). "A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams"; Teknisk Forlag, Copenhagen, Denmark.

Ferreira Ó. (1998). "Morfodinâmica de Praias Expostas: Aplicação ao Sector Costeiro Aveiro Cabo Mondego"; Tese de Doutoramento, Universidade do Algarve, 337pp.

Ferreira Ó., Dias J.A., Taborda R. (2008). "Implications of sea-level rise for continental Portugal". *Journal of Coastal Research*, 24 (2), 317–324.

Fortunato A.B., Oliveira A. (2004). "A modeling system for tidally driven long-term morphodynamics". *Journal of Hydraulic Research* 42 (4), 426–434.

Fredsøe J., Deigaard R. (1992). "Mechanics of Coastal Sediment Transport"; *Advanced Series on Ocean Engineering*, Vol.3, World Scientific, Singapore, 369pp.

Goff J.A., Olson H.C., Duncan C.S. (2000). "Correlation of side-scan backscatter intensity with grain-size distribution of shelf sediments", New Jersey margin. *Geo-Marine Letters*, 20, 43-49.

Gomes N.A., Weinholtz M.B. (1971) "Evolução da embocadura do estuário do Rio Arade (Portimão) e das praias adjacentes. Influência da construção dos molhes de fixação do canal de acesso ao Porto de Portimão. Emagrecimento da Praia da Rocha e sua reconstituição por deposição de areias dragadas no antepoporto". Com. 3^{as} Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil. Lourenço Marques, Vol. III, 4-27.

Hallermeier R.J. (1978). "Uses for a Calculated Limit Depth to Beach Erosion"; Proceedings of 16th Coastal Engineering Conference, ASCE, Hamburg, Germany, 1493-1512.

Hallermeier R.J. (1981). "A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate". *Coastal Engineering*, 4: 253-277.

Hamer K., Karius V. (2002). "Brick production with dredged harbour sediments. An industrial-scale experiment". *Waste Management* 22(5): 521-530.

Hamilton E.L., Bachman R.T. (1982). "Sound velocity and related properties in marine sediments". *The Journal of the Acoustical Society of America*, 72(6): 1891-1904.

Hidroprojeto (1998). "Plano de Ordenamento da Orla Costeira (Vilamoura-Vila Real de Santo António)". Vol. 2, Tomo I, Estudos Complementares aos Estudos Base. 27pp.

Hidrotécnica Portuguesa. "Estudo do Restabelecimento Artificial do Transporte Litoral Através da Embocadura da Ria de Aveiro". Hidrotécnica Portuguesa - Consultores para Estudos e Projectos.

Hitchcock D.R., Bell S. (2004). "Physical Impacts of Marine Aggregate Dredging on Seabed Resources in Coastal Deposits". *Journal of Coastal Research* 20(1): 5, 101–114.

Hughes M., Turner I. (1999). "The Beachface"; in Short A.D (eds), *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*, University of Sydney, Australia, pp. 119-144.

ICN (2002). "Requalificação do Sistema Lagunar da Ria Formosa". Instituto da Conservação da Natureza, Relatório Final. Lisboa, (não publicado) 47pp.

IH (2008). "Roteiro da Costa de Portugal", Portugal Continental, Instituto Hidrográfico da Marinha, Lisboa.

IHRH (1992). "A evolução fisiográfica da faixa costeira da região centro - que estratégias de gestão?". Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos - IHRH.

IMO (2009). "Convention on the prevention of marine pollution by dumping of wastes and other matter, 1972 and its 1996 protocol". Final report on permits issued in 2005, International Maritime Organization (IMO): 32.

IPQ (2004). NP EN 13043 Agregados para misturas betuminosas e tratamentos; superficiais em estradas, aeroportos e outras áreas sujeitas à acção de tráfego.

IPQ (2005a). NP EN 13055-1 Agregados leves para betão, argamassas e grout.

IPQ (2005b). NP EN 13139 Agregados para argamassa.

IPQ (2005c). NP EN 13242 Agregados para materiais granulares não tratados e para materiais com ligantes hidráulicos para utilização em trabalhos de engenharia civil e construção de estradas.

IPQ (2005d). NP EN 13450 Agregados para balastros de vias férreas.

IPQ (2008). NP EN 12620 + A1 Agregados para betão.

- Jones J. (1999). "Marine Geophysics", Willey, 466pp.
- Kamphuis J.W. (1991). "Alongshore Sediment Transport Rate"; *Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 117(6), 624-641pp.
- Kamphuis J.W., Davies M.H., Nairn R.B., Sayao O.J. (1986). "Calculation of Littoral Sand Transport Rate"; *Coastal Engineering*, n. 10, 1-21.
- Karius V., Hamer K. (2001). "pH and grain-size variation in leaching tests with bricks made of harbour sediments compared to commercial bricks." *The Science of The Total Environment* 278(1-3): 73-85.
- Knott S.T., Hersey J.B. (1956). "Interpretation of high-resolution echo-sounding and their use in bathymetry, marine geophysics and biology". *Deep Sea Research*, 4, 36-44.
- Komar P.D. (1976). "Beach Processes and Sedimentation"; Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 429pp.
- Kraus N.C. (1992). "Engineering Approaches to Cross-Shore Sediment Processes"; *Design and Reliability of Coastal Structures, Proceedings of the Short Course on Design and Reliability of Coastal Structures, Venice*, 175-209.
- Krause P.R., McDonnell K. A. (2000). "The Beneficial Reuse of Dredged Material for Upland Disposal", Harding Lawson Associates.
- Kriebel D.L., Kraus N.C., Larson M. (1991). "Engineering Methods for Predicting Beach Profile Response"; *Proceedings of Conference on Coastal Sediments '91*, ASCE, 557-571.
- Kubicki A., Manso F., Diesing M. (2007). "Morphological evolution of gravel and sand extraction pits, Tromper Wiek, Baltic Sea". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71: 647-656.
- Lafhaj Z., Samara M., Agostinia F., Boucarda L., Skoczylasa F., Depelsenaireb G. (2008). "Polluted river sediments from the North region of France: Treatment with Novosol® process and valorization in clay bricks". *Construction and Building Materials*, 22(5): 755-762.
- Le Bas T.P., Huvenne V.A.I. (2009). "Acquisition and processing of backscatter data for habitat mapping –

- Comparison of multibeam and sidescan systems". *Applied Acoustics*, 70: 1248-1257.
- Lopes V., Silva P.A., Bertin X., Fortunato A., Oliveira A. (2009). "Time-evolution of an offshore sandpit: validation of a morphodynamic model", *Journal of Coastal Research*, SI56, 529-533.
- Maher A., Bennert T., Jafari F., Gucunski N., Douglass, S. (2003). "Dredge Material Evaluation and Utilization Plan for New Jersey", Office of Maritime Resources, New Jersey Department of Transportation, 28pp.
- Manupella G. (1992). "Carta Geológica da Região do Algarve". Escala 1/100.000. Serv. Geol. Port., Lisboa.
- Marques F.F. (1991). "Taxas de recuo das arribas do litoral Sul do Algarve e sua importância na avaliação de riscos geológicos". Com. Sem. Eurocoast: A zona costeira e os problemas ambientais. Aveiro, 100-108.
- Marques F.F. (1997). "As arribas do litoral do Algarve. Dinâmica, Processos e Mecanismos". PhD. Thesis. Univ. Lisboa, Portugal, (não publicado) 556pp.
- Matias A., Ferreira Ó., Mendes I., Dias, J.A. (1998). "Monitorização da alimentação artificial da Península de Cacela". Com. Seminário Dragagens, Dragados e Ambientes Costeiros, Eurocoast, Lisboa, 47-56.
- Mazel C. (1985). "Side Scan Sonar training manual". New York, Klein Associates. Inc. Undersea Search and Survey. 144pp.
- McQuillin R., Arduis D.A. (1977). "Exploring Geology of Shelf Seas". Graham & Trotman Limited, 234pp.
- Meyer C. (2009). "The greening of the concrete industry." *Cement and Concrete Composites*, 31: 601-605.
- Meyer-Peter E., Müller R. (1948). "Formulas for Bed-Load Transport"; Report on the Second Meeting, International Association for Hydraulic Structures Research, Stockholm, 39-64.
- Mitchum Jr. R.M., Vail P.R., Thompson III S. (1977). "Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 2: The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis". in Payton C.E. (eds), *Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration*. AAPG, Tulsa, 53-62.
- MOPTC (2006). "Orientações Estratégicas para o Sector Marítimo-Portuário". Ministério das Obras

Públicas, Transportes e Comunicações.

Morang A., Parson L.E. (2002). "Coastal Morphodynamics"; Coastal Engineering Manual, Part IV, Coastal Geology, Chapter IV-3, Engineer Manual 1110-2-1100. In Morang A. (eds.), U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 86pp.

Müller G., Heidelberg M.G. (1971). "A bomba de carbonatos, um sistema simples para determinação do teor em carbonatos contidos em sedimentos, solos e outros materiais", (modificado por L. Gaspar, DGM) *Neues Jahrbuch der Mineralogie*, 10: 466-469.

Neto A.A. (2001). "Uso da Sismica de Reflexão de Alta Resolução e da Sonografia na Exploração Mineral Submarina". *Brazilian Journal of Geophysics*, 18: 16.

Nishimura C.E. (1997). "Fundamentals of Acoustic Backscatter Imagery". Washington DC: Naval Research Laboratory, 67pp.

Oliveira S. (2005). "Evolução recente da linha de costa no troço costeiro Forte Novo-Garrão (Algarve)". Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa (não publicado).

Oliveira S., Catalão J., Dias J.M.A. (2003). "Mean cliff retreat rate tendencies for Forte Novo-Garrão (Algarve-Portugal)". *Thalassas*, 19 (2b), Vigo, 210-211.

OSPAR (1992). OSPAR Convention 1992. Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic. Paris.

OSPAR (2008). OSPAR Commission 2008: Assessment of the environmental impact of dredging for navigational purposes. Biodiversity Series, OSPAR.

Pinto C., Quartau R., Duarte, H. (2006). "Projecto GEMAS - Relatório do processamento de dados (navegação e ficheiros segy) das campanhas FAPI-1 e FAPI-2". Relatório Técnico não publicado, Dept. Geologia Marinha - INETI, I.P., Lisboa, 11pp.

Pinto C.A., Teixeira S.B. (2004). "Rotação e evolução recente da configuração planar das praias da baía de Armação de Pêra (Algarve-Portugal)". Ciências da Terra (UNL), Lisboa, nº esp. V, CD-ROM, L37-L40.

Pratson L.F., Laine E.P. (1989). "The relative importance of gravity induced versus current-controlled sedimentation during the Quaternary along the Mideast US outer continental margin revealed by 3.5kHz echo character". *Marine Geology*, 89: 87-126.

Psuty N.P., Moreira M.E.A (1990). "Nourishment of a cliffed coastline, Praia da Rocha, Algarve, Portugal". *Journal of Coastal Research*, 6 (SI), 21-32.

Quartau R. (2007). "A plataforma submarina insular do Faial: Evolução morfológica e sedimentar". Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, 301pp.

Quartau R., Curado F., Cunha T., Pinheiro L., Monteiro J.H. (2002). "Projecto Gemas – Localização e distribuição de areias em redor da ilha do Faial". Relatório Técnico INGMARDEP 5/2002, Dept. Geologia Marinha - IGM, Lisboa, 37pp.

Quartau R., Teixeira F.C., Bouriak S., Monteiro J.H. Pinheiro L. (2003a). Projecto Gemas – Localização e distribuição de areias em redor da ilha do Pico". Relatório Técnico INGMARDEP 16/2003, Dept. Geologia Marinha - IGM, Lisboa. 49pp.

Quartau R., Teixeira F. C., Monteiro J.H., Cunha T., Pinheiro L.M., Cardigos F. (2003b). "Sand resources on the insular shelf of Faial Island (Azores)". Thalassas, special volume on the 4th Symposium on the Atlantic Iberian Continental Margin (vol. 19 - 2b), 7th to 10th July 2003, Vigo, Spain, 117-118.

Quartau R., Teixeira F.C., Duarte H., Muiños S., Pinto C. (2005a). "Projecto Gemas – Relatório da campanha de sísmica de reflexão (SAMI-1) realizada ao largo da ilha de S. Miguel". Relatório Técnico INGMARDEP 3/2005, Dept. Geologia Marinha - INETI, I.P., Lisboa. 34pp.

Quartau R., Duarte H., Brito P. (2005b). "Projecto Gemas – Relatório da campanha de amostragem de sedimentos (FAPI-3) realizada na plataforma e na orla costeira das ilhas do Faial e do Pico". Relatório Técnico INGMARDEP 2/2005, Dept. Geologia Marinha - INETI, I.P., Lisboa, 17pp.

Quartau R., Trenhaile A.S., Mitchell N.C., Tempea F. (2010). "Development of volcanic insular shelves: Insights from observations and modelling of Faial Island in the Azores Archipelago". *Marine Geology*. doi:10.1016/j.margeo.2010.04.008.

Quinn R., Dean M., Lawrence M., Liscoe S., Boland D. (2005). "Backscatter responses and resolution

considerations in archaeological side-scan sonar surveys: a control experiment". *Journal of Archaeological Science*, 32, 1252-1264.

Ramos M., Silva P.A., Sancho F. (2005). "Morphological modelling using a 2DH model" In van Rijn L., Soulsby R., Hoekstra P., Davies A.G. (eds.), *SANDPIT – Sand Transport and Morphology of Offshore Sand Mining Pits*. Aqua Publications, The Netherlands, ISBN 90-800356-7-X, AT 1-10.

Riddy P., Masson D.G. (1996). "The Sea Floor - Exploring a Hidden World". In: Summerhayes C.P., Thorpe S.A. (eds.) *Oceanography: an Illustrated Guide*. London, UK: Manson Publishing.

Roos P.C. (2004). "Seabed Pattern Dynamics and Offshore Sand Extraction". PhD thesis, University of Twente, The Netherlands.

Rosa J., Gonçalves D., Silva P.A., Pinheiro L.M., Rebêlo L., Fortunato A.B., Bertin X. (2011). "Estudo da Evolução de uma Área de Extração de Sedimentos ao largo de Vale do Lobo (Algarve Portugal) - Comparação entre Resultados Numéricos e Dados Batimétricos." *Revista de Gestão Costeira Integrada/ Journal of Integrated Coastal Zone Management*, vol. 11(3): 369-377.

Rosati J.D., Walton T., Bodge K. (2002). "Longshore Sediment Transport"; in Morang A.(eds), *Coastal Engineering Manual*, Part III, Coastal Sediment Processes, Chapter III-2, Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 113pp.

Samara M., Lafhaj Z., Chapiseau C. (2009). "Valorization of stabilized river sediments in fired clay bricks: Factory scale experiment." *Journal of Hazardous Materials* 163(2-3): 701-710.

Sheriff R.E. (1985). "Aspects of seismic resolution". In AAPG Memoir 39, Tulsa, Oklahoma, 1-12.

Sheriff R.E., Geldart L.P. (1995). "Exploration Seismology", Cambridge University Press, 592pp.

Shock S., Leblanc L. (1990). "Chirp sonar: new technology for sub-bottom profiling". *Sea Technology*, 31(9), 35-43.

Siham K., Fabrice B., Edine A.N., Patrick D. (2008). "Marine dredged sediments as new materials resource for road construction." *Waste Management* 28(5): 919-928.

Silva P.A., Oliveira A., Fortunato A., Ramos M. (2006). "Estudo numérico da evolução temporal de uma escavação de extração de inertes". 8º Congresso da Água, Figueira da Foz. (CdRom).

Silva P.A., Bertin X., Oliveira A., Fortunato A. (2009). "Intercomparison of sediment transport computations in current and combined wave and current conditions", *Journal of Coastal Research*, SI56, 559-563.

Silva R., Coelho C., Taveira-Pinto F., Veloso-Gomes, F. (2007). "Dynamical Numerical Simulation of Medium Term Coastal Evolution of the West Coast of Portugal", *Journal of Coastal Research*, SI 50: 263-267.

Soulsby R. (1997). "Dynamics of Marine Sands"; A Manual for Practical Applications, Thomas Telford, London, 249pp.

Souza L.A.P. (2006). "Revisão Crítica da Aplicabilidade dos Métodos Geofísicos na Investigação de Áreas Submersas Rasas". Doutoramento, Universidade de São Paulo.

Stive M.J.F., de Vriend H.J., Nicholls R.J., Capobianco M. (1992). "Shore nourishment and the active zone; a time scale dependent view", 23rd Coastal Engineering Conference. ASCE, New York, 2464-2473.

Sunamura T. (1984). "Quantitative Prediction of Beach-Face Slopes"; Geological Society of America Bulletin, 95, 242-245.

Teixeira F.C. (2001). "Projecto Gemas – Relatório da campanha FAPI1-2001 realizada ao largo do Faial". Relatório Técnico INGMARDEP 13/2001, Dept. Geologia Marinha - IGM, Lisboa, 11pp.

Teixeira S.B. (1999a). "Alimentação artificial de praias do Algarve". Cidades e Municípios, 61, 55-58.

Teixeira S.B. (1999b). "Contribuição para o conhecimento da evolução do litoral de Quarteira (Algarve-Portugal) nos últimos 8.000 anos". Al-Ulyā: Revista do Arquivo Histórico Municipal de Loulé, nº 7, Loulé, 27-53.

Teixeira S.B. (2005). "Evolução holocénica do litoral em regime transgressor: o caso da Costa de Quarteira (Algarve, Portugal)". Proceedings Coastal Holocene Paleoenvironmental Evolution, Lisboa, 121-124.

Teixeira S.B, Macedo F. (2001). "Prospecção de manchas de empréstimo ao largo de Albufeira (Algarve)", Relatório Direcção Regional do Ambiente e Ordenamento do Território do Algarve, Faro, (não publicado) 59pp.

Teixeira S.B., Rosa M. (2008). "Análise das soluções propostas por Vale de Lobo S.A. para protecção costeira do litoral Vale do Lobo-Garrão". Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve, Faro, (não publicado) 20pp.

Teixeira S.B., Rosa M., Gaspar P., Peleja J., Cuña J. (2008). "Alimentação artificial da praia de Alvor Nascente (Portimão)", Projecto de Execução. Administração da Região Hidrográfica do Algarve, Faro. (não publicado) 36pp.

Tempera F. (2008). "Benthic habitats of the extended Faial Island shelf and their relationship to geologic, oceanographic and infralittoral biologic features". Tese de Doutoramento, University of St. Andrews, St. Andrews, 311pp.

van Rijn L. (1989). "Handbook Sediment Transport by Currents and Waves"; Report H461, Delft Hydraulics.

van Rijn L., Walstra D.J. (2002). "Morphology of Pits, Channels and Trenches. Part I: Literature Review and Study Approach". Report Z3223, WL Delft Hydraulics.

van Rijn L., Soulsby R., Hoekstra P., Davies A.G (2005). "SANDPIT, Sand Transport and Morphology of Offshore Mining Pits". Aqua Publications, The Netherlands, 156pp.

Veloso-Gomes F. (1992). "A Evolução Fisiográfica da Faixa Costeira da Região Centro. Que Estratégias de Gestão?", Ed. CCRC no âmbito do PROT CL.

Veloso-Gomes F. (2001). "Situação na Zona Costeira da Costa Nova / Vagueira. Alimentação Artificial e Duna Artificial". Relatório no âmbito do Protocolo FEUP / INAG.

Veloso-Gomes F. (2003). "Projecto Base da Alimentação Artificial da Costa da Caparica e Notas Técnicas de Apoio ao Lançamento do Concurso com Areias Provenientes do Canal de Navegação de Acesso ao Porto de Lisboa". Actividades no âmbito do Protocolo FEUP / INAG.

Veloso-Gomes F., Taveira Pinto F., Pais Barbosa J., Costa J., Rodrigues A. (2007). "As Obras de Defesa Costeira na Costa da Caparica". Na Crista das Ondas do Mar e da Comunicação Social. Ed. SHRH / IHRH / FEUP. 23-32.

Vicente C.M., Uva L.P. (1985). "Sedimentation in Dredged Channels and Basins. Prediction of Shoaling Rates". Memória nº 648, LNEC, Lisboa.

Villaverde J.M.M. (1998). "Hidrodinámica del Perfil de Playa"; Colección Seinor nº 21, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 181pp.

Wang H.Y. (2009). "Durability of self-consolidating lightweight aggregate concrete using dredged silt." *Construction and Building Materials* 23(6): 2332-2337.

Wang P., Ebersole B.A., Smith E.R. (2002). "Longshore Sand Transport – Initial Results from Large-Scale Sediment Transport Facility"; ERDC/CHL CHETN-II-46, US Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

Wang H.Y., Tsai K.C. (2006). "Engineering properties of lightweight aggregate concrete made from dredged silt". *Cement and Concrete Composites* 28(5): 481-485.

Xu W. (1998). "Signal Direction-of-Arrival and Amplitude Estimation for Multiple-Row Bathymetric Sidescan Sonars" Master Massachusetts Institute of Technology and Woods Hole Oceanographic Institution.

Yilmaz, O. (2001). Seismic Data Analysis. SEG, Tulsa, Oklahoma, 2 Vols., 2023pp.

Zentar R., Dubois V, Abriak N.E. (2008). "Mechanical behaviour and environmental impacts of a test road built with marine dredged sediments". *Resources, Conservation and Recycling* 52(6): 947-954.

Zentar R., Abriak N.E., Dubois, V. (2009). "Effects of salts and organic matter on Atterberg limits of dredged marine sediments." *Applied Clay Science* 42(3-4): 391-397.

- AAPA (1970). "Port Maintenance". American Association of Port Authorities, Washington, DC, USA.
- AAPA (1973). "Standing Committee IV, Construction and Maintenance, Port Planning, Design and Construction: A Manual". American Association of Port Authorities, Washington, DC, USA.
- Aarninkhof S. (2008). "The Day After We Stop Dredging: A World Without Sediment Plumes". *Terra et Aqua*, nº110, March.
- Aarninkhof S., Luijendijk A. (2010). "Safe Disposal of Dredged Material in a Sensitive Environment Based on Innovative Plume Predictions". *Terra et Aqua*, nº119, June.
- ADB (1993). "Environmental Guidelines for Selected Infrastructure Projects". Office of the Environment. Asia Development Bank, Manila, Philippines.
- Agerschou H., Lundgren H. (1983). "Planning, Design of Ports and Marine Terminals". John Wiley and Sons, New York, USA.
- ASCE (1974). Task Committee on Port Structure Costs. Port Structure Costs, American Society of Civil Engineers, New York, USA.
- Athmer I., Hamer B., Kersley T., Sanderson P. (2005). "Partnering: The Right Procurement Tool for Risky Contracts". *Terra et Aqua*, nº98, March.
- Baird D.J., Maltby L., Greig-Smith P.W., Douben P.T. (eds.). (1996).

"Ecotoxicology: Ecological Dimensions". Chapman & Hall, London. 89pp. ISBN 0- 412-75470-3.

Baudelaire J.G. (1986). "Port Administration and Management". IAPH, Tokyo, Japan.

Becker S. (1992). "The Closing Process of Clamshell Dredges in Water-saturated Sand". *Terra et Aqua*, nº49, International Association of Dredging Companies.

Bellec V. (2004). "Report Task 1.5: Review of extraction techniques". EUMARSAND: Evaluation and environmental impact of extraction, Renard Centre of Marine Geology, Gent. 14pp.

Bray R.N. (1979). "Dredging: A Handbook for Engineers". Edward Arnold, London.

Bray R.N. (ed.) (2008). "Environmental Aspects of Dredging". IADC/CEDA, Taylor & Francis, London, 400pp. ISBN 978-0-415-45080.

Bray R.N., Bates, A.D., Land J.M. (1997). "Dredging: A Handbook for Engineers". 2^a ed., Butterworth-Heinemann, London, UK, 434pp.

Brils J., Brauch H.J., Liska I., Miloradov M., Veloso-Gomes F. (2007). "Sediment management: an essential element of river basin management plans". *Journal of Soils and Sediments*, Vol.7 nº 2, 117-132.

Brown, Nicholas A. (2006). "Reclaiming the Initiative: Remarks on the Form of Contract for Dredging and Reclamation Works, First Edition". *Terra et Aqua*, nº102, March.

Brown A.H.I. (1967). "Port Economics", 2nd Edition. Docks and Harbour Authority, London, UK.

Bruun P. (1989). "Port Engineering", Volumes 1 and 2. Gulf Publishing Co, Houston, TX, USA.

Burt T.N., Roberts W., Land J.M. (2000). "Assessment of Sediment Release During Dredging: A New Initiative called TASS". Proceedings of the Texas A & M 32nd Annual Dredging Seminar.

Calow P. (ed.). (1993). "Handbook of Ecotoxicology". Vol.1, Blackwell Scientific Publications, Oxford. p.478, ISBN 0-632-03573-0.

Calow P. (ed.). (1994). "Handbook of Ecotoxicology". Vol.2, Blackwell Scientific Publications, Oxford. p.488, ISBN 0-632-02989-7.

CEDA (1991). "The Measurement of Dredged Quantities for the Calculation of Payment". CEDA Secretariat, Delft, The Netherlands.

Chapon J. (1974/75). Travau, maritimes. Vols. I e II. Eyrolles, Paris, France.

CIRIA (1996). "Guidance on the Disposal of Dredged Material to Land", Report 57. Construction Industry Research and Information Association, London, UK.

Claeys S. *et al.* (2001). "Mobile turbidity measurements as a tool for determining future volumes of dredged material in access channels and estuarine ports". *Terra et Aqua*, nº84, September.

Clarkson Research Services Ltd. (2009). "Dredgers of the World", 7th Edition, Ledbury, UK.

Coelho C., Silva R., Veloso-Gomes F. (2006). "Shoreline Evolution Model: a Tool to Compare Coastal Protection Measures". *Coastal Dynamics, Geomorphology and Protection*, 15-123. ISBN 83-88617-82-6.

Coelho C., Silva R., Veloso-Gomes F., Taveira-Pinto F. (2009). "Potential effects of climate change on northwest Portuguese coastal zones". *ICES Journal of Marine Science*, 66, 1497-1507.

Coelho C., Veloso-Gomes F. (2006). "Crossshore Beach profile Models - Application to Aveiro Coast". *Journal of Coastal Research*, Vol.1, 345-350.

Coelho C., Veloso-Gomes F., Silva R. (2007). "Shoreline Coastal Evolution Model: Two Portuguese Case Studies". *Proceedings Coastal Engineering 2006*, Vol. 4, 3430-3441.

Costaras M.P., Bray R.N., Lewis R.P., Lee M.W.E. (2010). "The Importance of Bed Material Characterisation in Planning Dredging Contracts". Proceedings of 19th World Dredging Congress. Beijing, China.

Davis J.D., MacKnight S. *et al.* (1990). "Environmental Considerations for Port and Harbor Development". World Bank, Washington, DC, USA.

de Bree S.E.M. (1977). "Centrifugal Dredge Pumps". IHC Dredger Pump Division, Kinderdijk, The Netherlands.

Declercq E. (1999). "The Concept of Public-Private Partnerships: A New Approach to Transport Infrastructure Financing". *Terra et Aqua*, nº75, June.

Deketh H.R. (1993). "Rock Properties Relevant for The Assessment of Abrasiveness and Escavatability of Rock, Applied To Dredging", Proc. of the CEDA-Dredging Days, Experience of Research Results to Dredging Practice, Amterdam, Central Dredging Association, Section E4, 14pp.

Donze M. *et al.* (1990). "Shaping the Environment: Aquatic Pollution and Dredging in the European Community". Delwell Publishing, The Hague, The Netherlands.

Engler R.M. (1990). "Managing Dredged Materials". *Oceanus*, Woods Hole, MA, USA.

EuDA (2009). "Position Paper on Emission Reduction of Greenhouse Gases by the European Dredging Sector", Brussels, Belgium.

Evans A.A. (1974). Technical and Social Changes in The Worlds Ports. IIO, Geneva, Switzerland.

FIDIC (1988). "Conditions of Contract for Works of Civil Engineering Construction", 4th Edition. Federation Internationale des Ingenieurs-Conseils, Lausanne, Switzerland. Version with editorial comments.

FIDIC (1999). "Conditions of Contract for Construction for Building and Engineering Works Designed by the Employer." First Edition. Federation Internationale des Ingenieurs-Conseils, Lausanne, Switzerland.

Geyer R.A. (1981). Hydrocarbons. In "Marine Environmental Pollution", Elsevier Oceanography Series, Amsterdam, Oxford, New York.

Geyer R.A. (1981). Dumping and Mining. In "Marine Environmental Pollution", Elsevier Oceanography Series, Amsterdam, Oxford, New York.

Hamer D.G., de Boer, G.M. (2010). "Maasvlakte 2: An innovative Contractual and Systems Engineering Approach". *Terra et Aqua*, n°121, December.

Herbich J.B. (1991a). "Offshore Structures, Marine Foundations, Sediment Processes and Modeling". In Handbook of Coastal and Ocean Engineering, Vol. 2: Gulf Publishing Co., Houston, TX, USA.

Herbich J.B. (1991b). "Harbors, Navigation Channels, Estuaries, and Environmental Effects". In Handbook of Coastal and Ocean Engineering, Vol. 3: Gulf Publishing Co., Houston, TX, USA.

- Herbich J.B. (1992). "Handbook of Dredging Engineering". 2^a Ed., McGraw-Hill, New York, 640pp.
- Herbich J.B. (2000). "Handbook of Dredging Engineering", 2nd Edition, McGraw-Hill Education, 640pp.
- Hoepffner N., Dowell M., Green D.R., Sanchez-Arcilla A., Veloso-Gomes F. (2006). "Marine and Coastal Dimension of Climate Change in Europe". European Commission.
- Hoyle B.S., Hilling D. (1984). "Seaport Systems and Spatial Change". John Wiley & Sons. New York, USA.
- Hummer C.W., Jr. Burt T.N., d'Angremond K. (1993). "The Role of WODA in the London Dumping Convention". *Terra et Aqua*, nº50.
- Huston J. (1986). "Hydraulic Dredging, Principles, Equipment, Procedures and Methods", Cornell Maritime Press, Inc, Cambridge, MA, USA.
- IADC (1990). Users Guide to the 4th Edition of the FIDIC. International Association of Dredging Companies, The Hague, The Netherlands.
- IADC (1995). "International Seminar on Dredging and Reclamation", International Association of Dredging Companies, IADC, Singapore.
- IADC/CEDA (2008). "Environmental Aspects of Dredging". International Association of Dredging Companies/Central Dredging Association, The Hague. In Bray R.N. (eds.), Taylor and Francis, Leiden, The Netherlands.
- IAPH (1991). "IAPH Guidelines for Environmental Planning and Management in Ports and Coastal Developments". International Association of Ports and Harbors, Tokyo, Japan.
- IAPH (2001). "Guidelines for Port Planning and Design". International Association of Ports and Harbors, Tokyo, Japan.
- IAPH (1995). "Final Report on the 1994 IAPH Membership Survey". International Association of Ports and Harbors, Tokyo, Japan.

IHC (1989). "Modern Dredging Method and their Environment Aspects". *Ports and Dredging*, IHC Holland, 16-21.

Janssen S. (2008). "Conceptual Model for Partnering in the Dredging Industry". *Terra et Aqua*, nº113, December.

Kinlan D. (2009). "Vesting and Ownership of Plant on Dredging Projects: A Fair Remedy Or A Relic of the Past)", *Terra et Aqua*, nº5, June.

Kinlan D., Roukema D. (2010). "Adverse Physical Conditions and the Experienced Contractor", *Terra et Aqua*, nº9, June.

Land J.M., Bray R.N. (1998). "Acoustic Measurement of Suspended Solids for Monitoring of Dredging and Dredged Material Disposal". Proceedings 15th World Dredging Congress, Las Vegas, NV, USA.

MAOTDR (2006). "Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional". Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Nagorski B. (1972). "Port Problems in Developing Countries: Principles of Port Planning and Organization". International Association of Ports and Harbours, Tokyo, Japan.

National Research Council (1985). "Dredging Coastal Ports: An Assessment of the Issues". National Academy Press, Washington, DC, USA.

National Research Council (1990). "Managing Troubled Waters-The Role of Marine Environmental Monitoring". National Academy Press, Washington, DC, USA.

Pais-Barbosa J., Veloso-Gomes F., Taveira-Pinto F. (2007). "Coastal Features in the Energetic and Mesotidal West Coast of Portugal". *Journal of Coastal Research*, Vol.SI 50, 459-463.

PIANC (1984). "Report of the International Commission for the Classification of Soils, and Rocks to be Dredged", Supplement to Bulletin Nº47. International Navigation Association, Brussels, Belgium.

PIANC (2000). "Site Investigation Requirements for Dredging Works". Report of Working Group 23. Supplement to Bull. Nº103, Brussels, Belgium.

PIANC (2002). "Environmental Guidelines for Aquatic, Nearshore and Upland Confined Disposal Facilities for Contaminated Dredged Material". Report of Envicom, Working Group 5, International Navigation Association, Brussels, Belgium.

PIANC (2003). "Ecological and Engineering Guidelines for Wetlands Restoration in Relation to the Development and Maintenance of Navigation". Report of Envicom, Working Group 7, International Navigation Association, Brussels, Belgium.

PIANC (2004). "Dredging of Marinas". Report of WG 13. International Navigation Association, Bruxelles.

PIANC (2006). "Environmental risk assessment of dredging and disposal operations." EnviCom Report of WG 10. Brussels, Belgium.

PIANC (2008). "Minimising Harbour Siltation". Report n° 102, World Association for Waterborne Transport Infrastructure, Bruxelles.

PIANC (2009). "Dredging Management Practices for the Environment. A Structured Selection Approach". Report n° 100, World Association for Waterborne Transport Infrastructure, Bruxelles.

PIANC (2009). "Dredged Material as a Resource - Options and Constraints". Report of Envicom Working Group 4. Report n°104. Brussels, Belgium.

PIANC (2010). "Dredging and Port Construction Around Coral Reefs". Report n°108. Brussels, Belgium.

Population Reference Bureau (2010). http://www.prb.org/Publications/Datasheets/2010/201_owpds.aspx

Quaak M.P., Reinking M.W. (1992). "Innovative Dredging". *Terra et Aqua*, n° 42, International Association of Dredging Companies.

Rand G.M. (ed.) (1995). "Fundamentals of Aquatic Toxicology", 2^a ed., Taylor & Francis, UK, 1125pp. ISBN 1-56032-091-5.

Regul R. (1971). "L'avenir des ports européens", Vols. I e II. De Tempel, Bruges, Belgium.

Richardson M.J. (2002). "The Dynamics of Dredging. World Dredging", Irvine, CA, USA.

Riddy P., Masson D.G., (1996). "The Sea Floor - Exploring a Hidden World". In Summerhayes C.P., Thorpe S.A. (eds.), *Oceanography: an Illustrated Guide*. Manson Publishing, London, UK, 300-314.

Smith H. J. (1987). "Estimating the Mechanical Dredge Ability of Rock". The 28th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS), Balkema, Rotterdam.

Smith M. R., Collis L. (eds.) (2001). "Aggregates: Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes". Geological Society, London, *Engineering Geology Special Publications*, 17pp.

Soares A.M., Calow P. (eds.) (1993). "Progress in Standardization of Aquatic Toxicity Tests". Lewis Publishers, Michigan, U.S.A. 208pp. ISBN 0-87371- 845-3.

Tanis M., Vergeer (2008). "Long Term Coastal Defence And Management At Pevensey Bay, UK". A Public Private Partnership. *Terra et Aqua* nº108, December.

Teixeira S.B., Gaspar M., Furtado A. (1998). "Avaliação do impacte da alimentação artificial da praia de Vale de Lobo nas comunidades de bivalves". Com. Sem. Dragagens, Dragados e Ambientes Costeiros, Eurocoast, Lisboa, 79-89.

Thomas R.E. (1968). "Stowage: The Properties of and Stowage of Cargoes". Rev. by O.O. Thomas, 6th Edition. Brown, Son and Ferguson, Glasgow, UK.

UNCTAD (1979). "Port Development, a Handbook for Planners in Developing Countries". UNO, Geneva, Switzerland.

UNESCAP (1984). "Major Issues in the Field of Shipping, Ports, and Inland Waterways: Dredging for Development". ESCAP, Bangkok, Thailand.

Van der Burg T. (2010). "Dredging for Development on the Lower River Niger Between Baro and Warri, Nigeria". *Terra et Aqua* nº121, December.

van Oostrum R.W., van Rijn M. (1989). "Automated Monitoring of Dredging Projects". *Terra et Aqua*, nº41, International Association of Dredging Companies.

Van Raalte G.H., Bray R.N. (1999). "Hydrodynamic Dredging: Principles, effects and methods". Proceedings

CEDA Dredging Days, Amsterdam, The Netherlands.

VBKO, IADC (2001). "Construction and Survey Accuracies for the execution of dredging and stone dumping works". Rotterdam Public Works Dept., Port of Rotterdam, The Hague, The Netherlands.

Vellinga T. (1997). Handling and Treatment of Contaminated Dredged Material from Ports and Inland Waterways. Report of Working Group 17 of PTC " International Navigation Association, Brussels, Belgium.

Veloso-Gomes F. (2009). "Dragagens em Curso no Porto de Aveiro e a Situação nas Praias da Barra, Costa Nova e Vagueira". Relatório no âmbito do Protocolo FEUP / INAG.

Veloso-Gomes F., Taveira-Pinto F., Neves L., Pais-Barbosa J. (2006). "EUrosion. Pilot Site of River Douro – Cape Mondego and Case Studies". Ed. IHRHH / FEUP, 338pp.

Walker C.H., Hopkin S.P., Sibyl R.M., Peakall D.B. (1996). "Principles of Ecotoxicology". Taylor & Francis, UK. 321pp. ISBN 0-7484-0221-7.

Wilson. J.R. (1996). "Dredging: Building and Maintaining Our Underwater Highways". US Army Corps of Engineers, Washington, DC, USA.

Yell D., Riddell I. (1995). "ICE Design and Practice Guide: Dredging". Thomas Telford, London, UK.



| Editor

Universidade de Aveiro

| Autores

Rui Paiva
Roberto Vidal
Luís Ivens Portela
Carlos A. A. Caxaria
José Silva Pereira
Pedro García
Indalecio Martínez
Govert Van Oord
Carlos Coelho
Luis M. Pinheiro
Francisco C. Teixeira
Daniela S. Gonçalves
Leonardo Azevedo
Tiago Ribeiro
Amadeu Soares
Sizenando Abreu
Paulo A. Silva
Rui Quartau
J. Hipólito Monteiro
Francisco Veloso Gomes
Sebastião Braz Teixeira
Ana Velosa
Paulo Cachim

