



Raul André Alfaia Conceição

Licenciado em Engenharia Geológica

Gestão de dragagens portuárias – alguns aspectos geotécnicos e geoambientais

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Geológica

Orientadora: Doutora Paula F. da Silva, FCT-UNL
Co-orientador: Mestre Eng.º Alexandre Manuel Gameira dos Santos Ferreira, DGRM

Júri:

Presidente: Prof. Doutor José António de Almeida
Arguente: Prof. Doutora Sofia Maria Mesquita Soares
Vogal: Prof. Doutora Ana Paula Fernandes da Silva

Raul André Alfaia Conceição

Licenciado em Engenharia Geológica

**Gestão de dragagens portuárias – alguns
aspectos geotécnicos e geoambientais**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia
Geológica

Orientadora: Doutora Paula F. da Silva, FCT-UNL
Co-orientador: Mestre Eng.^o Alexandre Manuel Gameira dos
Santos Ferreira, DGRM

Júri:

Presidente: Prof. Doutor José António de Almeida
Arguente: Prof. Doutora Sofia Maria Mesquita Soares
Vogal: Prof. Doutora Ana Paula Fernandes da Silva

Março 2016

Gestão de dragados – alguns aspectos geotécnicos e geoambientais

Copyright@ Raul André Alfaia Conceição, 2016

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Esta dissertação não se encontra redigida segundo o novo acordo ortográfico da Língua Portuguesa.

AGRADECIMENTOS

O meu muito obrigado:

À Professora Doutora Ana Paula Silva, por todo o apoio, disponibilidade, ajuda, dedicação e boa vontade que teve comigo nestes meses e por todo o conhecimento que me transmitiu, sempre com a sua simpatia. Sem ela certamente seria muito mais difícil fazê-lo.

Ao Engenheiro Alexandre Santos Ferreira, da DGRM, por toda a paciência e calma com que me explicou as bases deste tipo de projectos e que à sua maneira característica me marcou de forma positiva com toda a ajuda que me deu.

Ao Engenheiro José Canelas, da DGRM, por todas as dicas e conhecimentos que me deu, no seu palavreado simples e prático.

À Professora Doutora Graça Brito, que me recebeu de braços abertos e me ajudou muito quando precisei, sempre disponível e muito simpática. Refrescou-me a memória e transmitiu-me a sua experiência na área dos SIGs.

À minha namorada Lara, por todo o amor, paciência, carinho e empenho que teve comigo, nestes tempos algo instáveis emocionalmente.

À minha família, com agradecimento especial aos meus pais, irmão e cunhada, sempre presentes no meu dia-a-dia, aos meus sobrinhos Martim e Manuel por me alegrarem sempre com as suas brincadeiras em momentos mais cinzentos, aos meus tios e primo do Brasil, Mário Alfaia, Tina Varela e Rafael Alfaia, que mesmo à distância deram o seu contributo e apoio sempre que precisei e ao meu primo João Miguel que também esteve sempre presente.

A todos os meus amigos e colegas, que conheci nesta faculdade e com quem a vivência me trouxe muitas competências pessoais, das quais me orgulho e que fazem de mim uma pessoa melhor e mais feliz, com agradecimento especial aos meus companheiros de ERASMUS David Silva e João Miranda e a todos os mais chegados a mim: Yucânia, Ana, Rita, Mariana, Soraia e João Pedro.

A todos os meus amigos no geral, que sempre me apoiaram e muitas vezes me acompanharam em tardes de estudo, com uma referência especial aos pontinhenses *Fidjos di Tchon* e aos alentejanos *Grupo dos Pobres*.

Aos meus amigos do bairro da Quinta das Dálías por todo apoio e ajuda a espairer, com especial agradecimento ao núcleo duro: Zeca, Vando, Pula, Rafa e Daniel.

A todos os docentes desta faculdade que contactaram comigo nestes anos e que de alguma forma me influenciaram para seguir o caminho certo.

À Geocontrolo, por me ter fomentado o bichinho pela Geotecnia, pela forma como sempre me recebeu e por tudo o que me ensinou.

RESUMO

As dragagens são operações realizadas em todo mundo que, podendo ter diversos âmbitos, desempenham um papel essencial no desenvolvimento dos transportes marítimos ou fluviais. Algo que está inerente a este tipo de intervenções é o volume de materiais dragados que se gera aquando da sua execução. Esses materiais, que normalmente são resultado de uma operação necessária a uma outra obra, podem ser aproveitados de forma sustentável, rentabilizando este tipo de trabalhos.

A gestão das dragagens envolve vários aspectos de índole ambiental e geotécnica. A presente dissertação detalha alguns destes aspectos, que são considerados fundamentais para decidir qual o destino mais adequado a dar aos materiais. Em função das suas características, eles podem ser reutilizados em diversas obras como materiais de construção, ou ser depositados em locais que podem ou não ser previamente preparados para os receber. O seu tratamento, embora envolva custos elevados deverá, em alguns casos, ser considerado, em conformidade com a legislação aplicável.

Uma ferramenta de análise do destino dos dragados são os sistemas de informação geográfica – SIG, que nesta dissertação é utilizada num caso de estudo de uma dragagem de manutenção no Portinho de Vila Praia de Âncora. Com base nos resultados obtidos, foi possível caracterizar os dragados quanto ao seu volume e quanto à sua aptidão geoambiental e geotécnica. Considera-se um método de análise produtivo, tendo em conta os meios que requer e os resultados que proporciona.

Palavras-chave: Dragagens; Gestão das dragagens; Aspectos geotécnicos; Aspectos geoambientais; SIG

ABSTRACT

Dredging are operations performed all over the world that can have many purposes. They take a very important part in the development of maritime and fluvial transportation. As a result of them, a significant amount of materials are generated. These materials can be reused in a sustainable way, increasing the viability of the dredging.

Dredging management is associated to some environmental and geotechnical considerations. This dissertation specify some of them that are crucial to decide which destination should be given to dredged materials. In function of their properties, dredged materials can be reused in several construction works, or be deposited in facilities that can be specifically designed for that. In some cases, they can be also submitted to treatment according to national guidelines, despite of being a considerable and expensive process.

Geographic information systems can be used to assess the destination of dredged materials. In this dissertation, they are applied to the study of a maintenance dredging performed at the small harbour of Vila Praia de Âncora. The results allow to characterize the dredged material in relation to their volumes and their geotechnical and geoenvironmental aptitude. This method of analysis is considered productive, comparing the resources necessary to use it and the corresponding results.

Key-words: Dredging; Dredging management; Geotechnical considerations; Geoenvironmental considerations; GIS

INDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 RELEVÂNCIA E JUSTIFICAÇÃO DO TEMA	1
1.2 OBJECTIVOS PROPOSTOS E METODOLOGIA ADOPTADA	1
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2. DRAGAGENS: TIPOS E EQUIPAMENTOS	5
2.1 DEFINIÇÃO E TIPOS	5
2.1.1 <i>Dragagens de primeiro estabelecimento</i>	5
2.1.2 <i>Dragagens de manutenção</i>	6
2.1.3 <i>Dragagens de recuperação ambiental</i>	6
2.2 PRINCIPAIS OBJECTIVOS DAS DRAGAGENS	6
2.3 TIPOS DE TRABALHOS	8
2.4 EQUIPAMENTOS DE DRAGAGEM	11
2.4.1 <i>Dragas mecânicas</i>	12
2.4.1.1 <i>Draga de baldes</i>	12
2.4.1.2 <i>Equipamento nivelador de fundo</i>	13
2.4.1.3 <i>Draga de mandíbula sobre balsa</i>	15
2.4.1.4 <i>Draga de mandíbula autopropulsionada</i>	16
2.4.1.5 <i>Draga estacionária</i>	17
2.4.1.6 <i>Draga retroescavadora hidráulica</i>	19
2.4.2 <i>Dragas hidráulicas:</i>	20
2.4.2.1 <i>Draga de sucção e arraste</i>	20
2.4.2.2 <i>Draga de sucção com cabeça cortante</i>	22
2.4.2.3 <i>Draga com cabeças injectoras de água</i>	24
2.4.2.4 <i>Draga de sucção estacionária</i>	26
2.4.2.5 <i>Draga Dustpan</i>	27
2.4.3 <i>Comparação de desempenho e aplicação</i>	28
3. PROJECTO DE DRAGAGENS	31
3.1 EFEITOS ASSOCIADOS ÀS DRAGAGENS	31
3.1.1 <i>Efeitos no ambiente físico</i>	31
3.1.2 <i>Efeitos no ecossistema</i>	32
3.1.2.1 <i>Efeitos directos</i>	33
3.1.2.2 <i>Efeitos indirectos</i>	33
3.1.2.3 <i>Efeitos permanentes</i>	34
3.2 ASPECTOS GEOTÉCNICOS	34
3.2.1 <i>Métodos de prospecção</i>	34
3.2.1.1 <i>Prospecção geofísica</i>	35
3.2.1.2 <i>Modelo geológico-geotécnico preliminar</i>	35
3.2.1.3 <i>Sondagens e amostragem</i>	37
3.2.1.4 <i>Ensaio <i>in situ</i></i>	40
3.2.1.5 <i>Ensaio físicos e mecânicos em laboratório</i>	40
3.2.1.6 <i>Dragagem piloto</i>	41
3.2.2 <i>Orientações a seguir</i>	41
3.2.2.1 <i>Aspectos gerais</i>	41
3.2.2.2 <i>Localização, área e quantidade</i>	43
3.2.3 <i>Características físicas dos solos</i>	43
3.2.3.1 <i>Solos granulares</i>	44
3.2.3.2 <i>Solos plásticos</i>	45
3.2.3.3 <i>Solos orgânicos</i>	46
3.3 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS	46
3.3.1 <i>Regulação a nível internacional</i>	46
3.3.2 <i>Regulação a nível nacional</i>	49

3.3.3	<i>Análises químicas</i>	51
3.3.3.1	Hidrocarbonetos	52
3.3.3.2	Compostos clorados	52
3.3.3.3	Pesticidas	53
3.3.3.4	Compostos organo-metálicos	53
3.3.3.5	Compostos inorgânicos	53
3.3.3.6	Diversos	53
3.3.4	<i>Análises biológicas</i>	53
3.3.4.1	Toxicidade	54
3.3.4.2	Bioacumulação	55
4.	GESTÃO DE DRAGADOS	57
4.1	REUTILIZAÇÃO DOS DRAGADOS	59
4.1.1	<i>Proteção costeira</i>	59
4.1.1.1	Alimentação de praias	59
4.1.1.2	Bermas <i>off-shore</i>	60
4.1.1.3	Deposição em bancos de cursos de água	61
4.1.1.4	Construção de diques, barragens e dunas	61
4.1.2	<i>Construção</i>	61
4.1.2.1	Materiais de construção e conquista de terrenos ao mar	61
4.1.2.2	Agregados	62
4.1.2.3	Mistura com cimento	62
4.1.2.4	Utilização com geotexteis	63
4.1.2.5	Tijolos	63
4.1.3	<i>Agricultura, horticultura e silvicultura</i>	63
4.1.4	<i>Habitat</i>	64
4.2	DEPOSIÇÃO DOS DRAGADOS	64
4.2.1	<i>Deposição em meio aquático</i>	64
4.2.1.1	Deposição em meio aquático não confinado	64
4.2.1.2	Deposição em meio aquático semi-confinado	65
4.2.1.3	Comportamento dos materiais	65
4.2.2	<i>Deposição em meio confinado</i>	67
4.2.2.1	<i>Upland</i> CDFs	67
4.2.2.2	<i>Inland/Nearshore</i> CDFs	68
4.2.2.3	Comportamento dos materiais	69
4.3	TRATAMENTO DOS DRAGADOS	70
4.3.1	<i>Pré-tratamento</i>	70
4.3.2	<i>Tratamento físico-químico</i>	71
4.3.3	<i>Tratamento biológico</i>	71
4.3.4	<i>Tratamento térmico</i>	71
4.3.5	<i>Tratamento electrocinético</i>	71
5.	CASO DE ESTUDO – DRAGAGENS DE MANUTENÇÃO EM VILA PRAIA DE ÂNCORA	73
5.1	ENQUADRAMENTO DO PROJECTO	73
5.2	ANÁLISE CRONOLÓGICA DAS DRAGAGENS	74
5.3	ANÁLISE DOS DRAGADOS DE 2015	75
5.3.1	<i>Dados fornecidos</i>	76
5.3.2	<i>Fluxogramas da metodologia usada</i>	77
5.3.2.1	Metodologia para determinação de volumes	77
5.3.2.1	Metodologia para análise física e química dos dragados	77
5.3.3	<i>Resultados obtidos</i>	79
5.3.3.1	Determinação de volumes de dragagem	79
5.3.3.2	Análise das granulometrias	80
5.3.3.3	Análise dos teores químicos e classificação quanto à sua aptidão ambiental	85
5.4	ANÁLISE DO DESTINO DOS DRAGADOS	90

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTA DE INVESTIGAÇÕES FUTURAS	93
6.1 CONCLUSÕES	93
6.2 TRABALHOS FUTUROS.....	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. 1 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DA METODOLOGIA ADOPTADA	2
FIGURA 2. 1 - PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA DRAGA DE BALDES (ADAPTADO DE BRAY ET AL. 1997)	12
FIGURA 2. 2 - PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM EQUIPAMENTO NÍVELADOR DE FUNDO (ADAPTADO DE BRAY ET AL. 1997)	14
FIGURA 2. 3 - PRINCIPAIS COMPONENTES DA <i>GRAB PONTOON DREDGER</i> (ADAPTADO DE BRAY ET AL. 1997).....	15
FIGURA 2. 4 - PRINCIPAIS COMPONENTES DA <i>GRAB HOPPER DREDGER</i> (ADAPTADO DE SANZ BERMEJO 2001, CITADO POR MUÑOZ 2011)	17
FIGURA 2. 5 - PRINCIPAIS COMPONENTES DA DRAGA ESTACIONÁRIA (ADAPTADO DE BRAY ET AL. 1997).....	18
FIGURA 2. 6 - PRINCIPAIS COMPONENTES DA DRAGA RETROESCAVADORA HIDRÁULICA (ADAPTADO DE BRAY ET AL. 1997).....	19
FIGURA 2. 7 - PRINCIPAIS COMPONENTES DA DRAGA DE SUÇÃO E ARRASTE (ADAPTADO DE BRAY ET AL. 1997)	21
FIGURA 2. 8 - PRINCIPAIS COMPONENTES DA DRAGA DE SUÇÃO COM CABEÇA CORTANTE (ADAPTADO DE BRAY ET AL. 1997).....	23
FIGURA 2. 9 - PRINCIPAIS COMPONENTES DA DRAGA COM CABEÇAS INJECTORAS DE ÁGUA (ADAPTADO DE BRAY ET AL. 1997).....	25
FIGURA 2. 10 - DRAGA DE SUÇÃO ESTACIONÁRIA (ADAPTADO DE SANZ BERMEJO 2001, CITADO POR MUÑOZ 2011)	26
FIGURA 2. 11 - CABEÇA DE SUÇÃO DA DRAGA DUSTPAN (ADAPTADO DE BRAY ET AL. 1997)	28
FIGURA 3. 1 - CADEIA DE POSSÍVEIS EFEITOS DA ALTERAÇÃO DA BATIMETRIA (ADAPTADO DE BRAY 2008).....	32
FIGURA 3. 2 - INÍCIO DA OPERAÇÃO COM O <i>CORER</i> DE GRAVIDADE (SIVA ET AL. 2015)	37
FIGURA 3. 3 - <i>CORER DE PISTON</i> (SILVA ET AL. 2015)	38
FIGURA 3. 4 - INÍCIO DA OPERAÇÃO COM O <i>VIBRACORER</i> (SILVA ET AL. 2015)	39
FIGURA 3. 5 - QUADRO DE AVALIAÇÃO DOS MATERIAIS DRAGADOS (ADAPTADO DE BRAY & COHEN 2010)	48
FIGURA 3. 6 - MAPA DOS PAÍSES QUE ADERIRAM À CONVENÇÃO DE OSPAR (FLANDERS MARINE INSTITUTE - HTTP://WWW.VLIZ.BE)	49
FIGURA 4. 1 - DEPOSIÇÃO AQUÁTICA NÃO CONFINADA (A), SEMI-CONFINADA (B E C) E CONFINADA (D A F) (ADAPTADO DE BRAY 2008)	65
FIGURA 4. 2 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UMA <i>UPLAND CDF</i> (ADAPTADO DE BRAY 2008)	68
FIGURA 4. 3 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UMA <i>INLAND / NEARSHORE CDF</i> (ADAPTADO DE BRAY 2008)	69
FIGURA 5. 1- ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DE VILA PRAIA DE ÂNCORA (ADAPTADO DE PT.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/CAMINHA)	73
FIGURA 5. 2- FOTOGRAFIA AÉREA DO PORTINHO DE VILA PRAIA DE ÂNCORA (GOOGLE EARTH © 2006)	74
FIGURA 5. 3 - FOTOGRAFIA AÉREA COM REPRESENTAÇÃO DAS DIFERENTES ÁREAS DE DRAGAGEM (GOOGLE EARTH © 2006)	75
FIGURA 5. 4 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM, ESCALA 1:5000 (ARCMAP - ESRI WORLD IMAGERY)	76
FIGURA 5. 5 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA USADA PARA O CÁLCULO DE VOLUMES DE DRAGADOS.....	77
FIGURA 5. 6 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA USADA PARA A INTERPOLAÇÃO DE TEORES DE CONTAMINANTES E FRACÇÕES ARENOSAS	79
FIGURA 5. 7 - MODELO DIGITAL DE ALTITUDES DO PORTINHO DE VILA PRAIA DE ÂNCORA - ARCMAP.....	80
FIGURA 5. 8 - MAPA DE REPRESENTAÇÃO DA AREIA FINA NO TOPO DOS SEDIMENTOS - ARCMAP	81
FIGURA 5. 9 - MAPA DE REPRESENTAÇÃO DA AREIA FINA NA BASE DOS SEDIMENTOS - ARCMAP.....	82
FIGURA 5. 10 - MAPA DE REPRESENTAÇÃO DA AREIA MÉDIA NO TOPO DOS SEDIMENTOS - ARCMAP	83
FIGURA 5. 11 - MAPA DE REPRESENTAÇÃO DA AREIA MÉDIA NA BASE DOS SEDIMENTOS - ARCMAP.....	83
FIGURA 5. 12 - MAPA DE REPRESENTAÇÃO DA AREIA GROSSA NO TOPO DOS SEDIMENTOS - ARCMAP.....	84
FIGURA 5. 13 - MAPA DE REPRESENTAÇÃO DA AREIA GROSSA NA BASE DOS SEDIMENTOS - ARCMAP.....	85
FIGURA 5. 14 - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES EM ARSÉNIO DOS SEDIMENTOS DO TOPO NA ÁREA DO PORTINHO DE VILA PRAIA DE ÂNCORA - ARCMAP	86
FIGURA 5. 15 - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES EM ARSÉNIO DOS SEDIMENTOS DA BASE NA ÁREA DO PORTINHO DE VILA PRAIA DE ÂNCORA - ARCMAP	86
FIGURA 5. 16 - MAPA DE APTIDÃO AMBIENTAL DOS MATERIAIS QUANTO AO SEU TEOR EM ARSÉNIO - ARCMAP	87

FIGURA 5. 17- DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES EM ZINCO DOS SEDIMENTOS DO TOPO NA ÁREA DO PORTINHO DE VILA PRAIA DE ÂNCORA – ARCMAP	88
FIGURA 5. 18 - DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES EM ZINCO DOS SEDIMENTOS DA BASE NA ÁREA DO PORTINHO DE VILA PRAIA DE ÂNCORA – ARCMAP	88
FIGURA 5. 19 - DISTRIBUIÇÃO DA SOMA DOS PAH NOS SEDIMENTOS DO TOPO NA ÁREA DO PORTINHO DE VILA PRAIA DE ÂNCORA – ARCMAP	89
FIGURA 5. 20 - DISTRIBUIÇÃO DA SOMA DOS PAH NOS SEDIMENTOS DA BASE NA ÁREA DO PORTINHO DE VILA PRAIA DE ÂNCORA – ARCMAP	89

INDICE DE TABELAS

TABELA 2. 1 - TABELA DE SÍNTESE DOS OBJECTIVOS E TIPOS DE TRABALHOS DAS DRAGAGENS.....	11
TABELA 2. 2 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA DRAGA DE BALDES	13
TABELA 2. 3. PRINCIPAIS VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA GRAB PONTOON DREDGER	16
TABELA 2. 4 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA DRAGA ESTACIONÁRIA	18
TABELA 2. 5 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA DRAGA RETROESCAVADORA HIDRÁULICA	20
TABELA 2. 6 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA DRAGA DE SUCCÃO E ARRASTE.....	22
TABELA 2. 7 - PRINCIPAIS VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA DRAGA DE SUCCÃO COM CABEÇA CORTANTE	23
TABELA 2. 8 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA DRAGA COM CABEÇAS INJECTORAS DE ÁGUA	25
TABELA 2. 9 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA DRAGA DE SUCCÃO ESTACIONÁRIA	27
TABELA 2. 10 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA DRAGA DUSTPAN	28
TABELA 2. 11 - COMPARAÇÃO DAS DRAGAS TENDO EM CONTA O DESEMPENHO AMBIENTAL (ADAPTADO DE BRAY 2008).....	29
TABELA 2. 12 - TABELA DE SÍNTESE DAS DRAGAS E SUAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	30
TABELA 3. 1 - PRINCIPAIS ENSAIOS PARA A ELABORAÇÃO DE UM MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO, DISCRIMINADOS EM FUNÇÃO DO TIPO DE MATERIAL (SILVA <i>ET AL.</i> 2015)	41
TABELA 3. 2 - QUANTIDADE DE ESTAÇÕES DE MONITORIZAÇÃO A IMPLEMENTAR POR VOLUME DRAGADO (ANEXO III DA PORTARIA N.º 1450/2007 DE 12 DE NOVEMBRO).....	50
TABELA 3. 3 - CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAIS DE ACORDO COM O GRAU DE CONTAMINAÇÃO EM METAIS E COMPOSTOS ORGÂNICOS (ANEXO III DA PORTARIA N.º1450/2007 DE 12 DE NOVEMBRO)	50
TABELA 4. 1- VANTAGENS E LIMITAÇÕES DAS <i>UPLAND CDFs</i> (ADAPTADO DE BRAY 2008)	68
TABELA 4. 2 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DAS <i>INLAND / NEARSHORE CDFs</i> (ADAPTADO DE BRAY 2008)	69
TABELA 5. 1 - VOLUMES DRAGADOS POR ANO, DESDE 2005	74
TABELA 5. 2 - DESTINO DADO AOS DRAGADOS DESDE O ANO DE 2005	75
TABELA 5. 3- ÁREAS E VOLUMES DE DRAGAGEM, PARCIAIS E TOTAIS.....	80
TABELA 5. 4 - CLASSIFICAÇÃO AMBIENTAL DOS MATERIAIS QUANTO AO SEU TEOR EM ARSÉNIO (ADAPTADO DE ANEXO III DA PORTARIA N.º1450/2007 DE 12 DE NOVEMBRO)	85
TABELA 5. 5 - CLASSIFICAÇÃO AMBIENTAL DOS MATERIAIS QUANTO AO SEU TEOR EM ZINCO (ADAPTADO DE ANEXO III DA PORTARIA N.º1450/2007 DE 12 DE NOVEMBRO)	87
TABELA 5. 6 - CLASSIFICAÇÃO AMBIENTAL DOS MATERIAIS QUANTO AO SEU TEOR EM PAHS (ADAPTADO DE ANEXO III DA PORTARIA N.º1450/2007 DE 12 DE NOVEMBRO)	90

1. INTRODUÇÃO

1.1 RELEVÂNCIA E JUSTIFICAÇÃO DO TEMA

As dragagens são operações que se desenvolvem regularmente em zonas imersas, marítimas ou fluviais, em todo o mundo. Os portos marítimos de maior dimensão, a nível mundial, requerem frequentemente dragagens, por exemplo para um alargamento nos canais de acesso, para uma ampliação das infraestruturas ou até para manter uma profundidade operacional. No caso do transporte fluvial, é também necessário executar dragagens para construção ou manutenção de canais essenciais ao transporte de pessoas, bens-materiais ou recursos.

Estas actividades possuem alguma preponderância a nível internacional, devido ao facto de estarem ligadas directamente às áreas do comércio, dos transportes e do turismo. A nível mundial cerca de 80% das trocas comerciais realizam-se por via marítima, sendo que em Portugal este valor é da ordem de 65% (Carneiro & Pinto 2011). Dada a sua importância e o facto de se realizarem frequentemente, gerando um volume elevado de materiais dragados, torna-se fundamental para uma sociedade que se pretende sustentada gerir e aproveitar esses materiais. Para esse aproveitamento é essencial analisar e caracterizar os materiais, de forma a escolher o método mais adequado para a sua escavação, bem como destino mais adequado a dar-lhes.

Outra envolvente não menos relevante é a gestão ambiental dos dragados. Saliencia-se que existe a hipótese dos materiais a dragar estarem contaminados. Em caso afirmativo, a sua dragagem e/ou deposição em local inapropriado pode gerar problemas, tanto no ambiente como no ecossistema. Ressalva-se, portanto, que estas intervenções sejam analisadas e realizadas com a devida precaução, sendo necessário em alguns casos (dragagens de primeiro estabelecimento principalmente) um estudo de impacte ambiental, de acordo com o Decreto de Lei nº197/2005 de 8 de Novembro.

A nível nacional, estima-se que sejam dragados cerca de $5,0 \times 10^6$ m³ por ano (Portela 2011). Uma problemática actual é a erosão costeira. Existe uma necessidade de repor as areias da costa que são levadas pelo mar. Essa reposição é consumada através de dragagens. Muitas das vezes o próprio propósito das dragagens é, para além de ser impedir o assoreamento de um porto é também o combate erosão costeira com o material que se vai dragar, como foi o caso das intervenções na Barra de Aveiro em 2012 (Rosa 2012).

Inicialmente, o facto de existir um volume significativo de material, potencialmente contaminado e sem destino de deposição, pode ser considerado um problema, mas em função da sua caracterização, os dragados podem e devem ser geridos para adquirirem uma reutilização ou deposição benéfica.

1.2 OBJECTIVOS PROPOSTOS E METODOLOGIA ADOPTADA

Nesta dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica pretende-se apresentar uma síntese de conhecimentos, estruturada e fundamentada, acerca da gestão de dragados e dos seus principais aspectos geotécnicos e geoambientais. Como condição preliminar para o entendimento dos

aspectos referidos, introduzem-se as dragagens, bem como os tipos de equipamentos e trabalhos em que intervêm. São objectos de pesquisa e aprofundamento de conhecimentos, livros, artigos científicos internacionais no âmbito da temática e projectos de dragagens nacionais relativos a diferentes tipos de dragados, essencialmente solos.

É também um objectivo, como aplicação do conhecimento e da síntese realizada, a análise de um caso de estudo sobre as dragagens de manutenção que anualmente são executadas no Portinho de Vila Praia de Âncora. Pretende-se, através da utilização de Sistemas de Informação Geográfica - SIG, analisar a evolução cronológica dos volumes, tipos e contaminação dos dragados. Considera-se ainda tecer comentários acerca do destino dado aos dragados em intervenções anteriores e sugerir, se possível, aplicações alternativas.

A Figura 1.1 apresenta um esquema descritivo da metodologia adoptada.

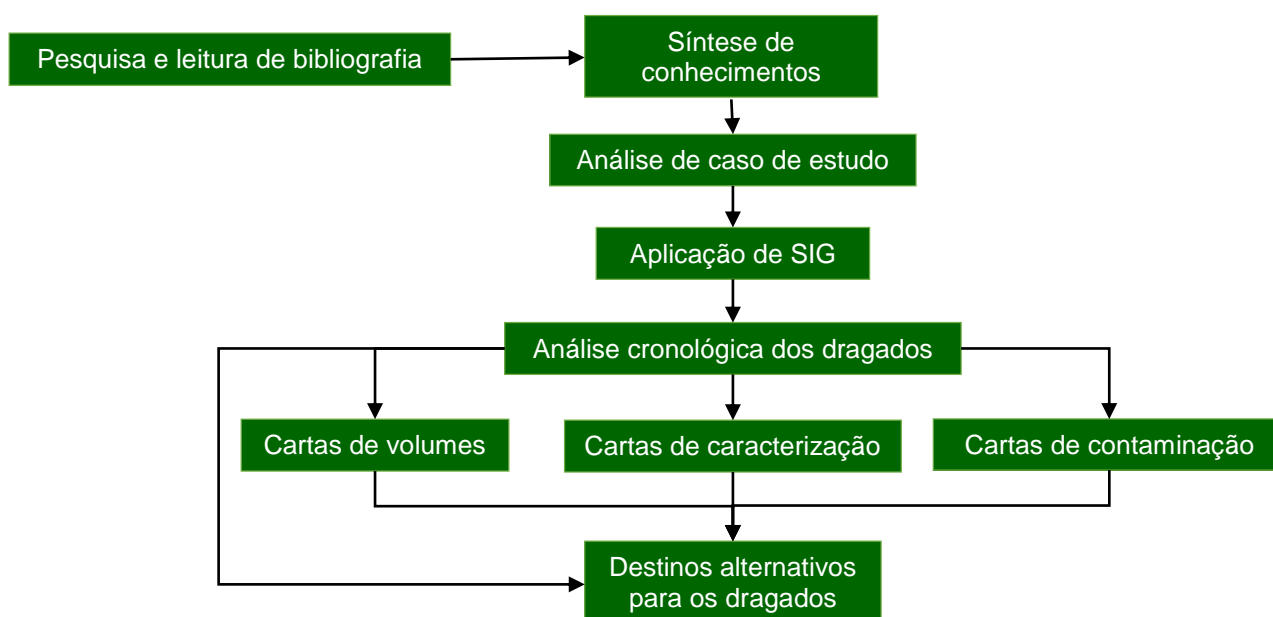


Figura 1. 1 - Esquema representativo da metodologia adoptada

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O estudo apresentado inicia-se pelo presente capítulo, introdutório à temática abordada e aos objectivos e metodologia adoptada nesta dissertação.

No Capítulo 2 apresentam-se os tipos e objectivos das dragagens, bem como as diversas intervenções de engenharia em que se inserem. São ainda descritos e comparados entre si os diferentes equipamentos de dragagem.

O capítulo seguinte aborda o projecto das dragagens. Após uma breve referência aos efeitos que as dragagens podem ter nos ambientes físicos e ecossistemas, descrevem-se os diversos parâmetros que devem ser considerados naqueles estudos, respeitando considerações de índole geotécnica e geoambiental.

No Capítulo 4 abordam-se os diferentes destinos que podem ser atribuídos aos dragados: a sua reutilização, deposição ou tratamento.

O estudo de um caso prático, que incide sobre as dragagens de manutenção executadas no Portinho de Vila Praia de Âncora, integra o capítulo seguinte. Depois de um enquadramento ao local, analisam-se as dragagens previamente desenvolvidas e respectivos destinos dados aos dragados no passado. Com os dados obtidos no estudo geotécnico e geoambiental do ano de 2015 e recorrendo a um Sistema de Informação Geográfica como ferramenta de integração e análise georreferenciada dessa informação, geram-se cartas para descrever a situação dos materiais a dragar segundo três perspectivas distintas: o seu volume, o seu teor em contaminantes químicos e a sua granulometria predominante.

No último capítulo é feita uma síntese geral das considerações tecidas mais relevantes e uma análise crítica dos resultados do caso de estudo. Propõem-se ainda alguns segmentos que podem vir a ser aprofundados para dar continuidade a este estudo e a esta temática.

Finalmente listam-se as principais referências consultadas para executar esta investigação.

O texto inclui ainda diversas figuras e tabelas que são do autor, com exceção daquelas cuja fonte é indicada.

2. DRAGAGENS: TIPOS E EQUIPAMENTOS

2.1 DEFINIÇÃO E TIPOS

Segundo Bray & Cohen (2010), uma dragagem é um processo de extracção de solo ou rocha, que ocorre debaixo de água. Este contempla essencialmente três etapas: escavação, transporte (vertical e horizontal) e deposição ou reutilização do material dragado.

Para quantificar a área a dragar, recorre-se frequentemente a levantamentos batimétricos executados por sondas acústicas. De modo a perceber a natureza dos materiais a dragar, são empregues métodos de exploração geológicos e geofísicos.

É importante considerar diversos parâmetros no planeamento, construção e manutenção deste tipo de intervenções de engenharia, tentando sempre equilibrar os aspectos que dizem mais respeito à engenharia com os que consideram o ambiente. Por isso considera-se adequado providenciar informação acerca de potenciais benefícios ou impactes, para que a avaliação do projecto seja ponderada.

Os projectos de dragagens, nomeadamente as suas exigências e a complexidade dos trabalhos associados, variam consoante o seu tipo. De acordo com Bray (2008), as dragagens categorizam-se em três tipos: as de primeiro estabelecimento, as de manutenção e as de recuperação ambiental.

2.1.1 Dragagens de primeiro estabelecimento

As dragagens de primeiro estabelecimento, consideradas de maior complexidade, envolvem habitualmente projectos de dragagem como uma condição preliminar necessária ao início da exploração, isto é, envolvem a criação ou a melhoria de instalações como portos, aprofundamento de canais, lagos ou a recuperação de áreas para fins industriais, residenciais ou de lazer. Esta categoria de dragagens engloba ainda projectos de grande envergadura como pontes ou túneis, alimentação de praias, mineração e a obtenção de materiais de construção ou minerais (*op. cit.*, 2008).

Este tipo de operações é caracteriza-se normalmente por:

- Movimento de grandes quantidades de material;
- Solos compactos;
- Camadas de solo não perturbadas;
- Baixo teor de materiais contaminados;
- Espessura de camadas considerável;
- Escavação em rocha por desmonte com explosivos.
- Actividades de dragagem não repetitiva.

2.1.2 Dragagens de manutenção

As dragagens de manutenção realizam-se de forma recorrente e consideram normalmente a manutenção de portos ou canais, tratando por exemplo de assoreamentos que comprometem a operacionalidade de infraestruturas portuárias (Santos-Ferreira et al, 2014).

Estas são caracterizadas por:

- Quantidades variáveis de material;
- Solos de resistência variável;
- Possível presença de contaminantes;
- Camadas de solo normalmente pouco espessas;
- Dragagem em ambientes dinâmicos;
- Sedimentação e erosão presentes durante a operação

2.1.3 Dragagens de recuperação ambiental

Estas dragagens, embora possam estar muitas vezes associadas às mencionadas anteriormente, têm como objectivo principal a reabilitação ambiental de uma determinada área, normalmente contaminada por acções antrópicas. Esta categoria reflecte o esforço da sociedade em corrigir acções passadas que, em alguns casos, levaram à contaminação de quantidades significativas de material. Requerendo uma remoção cuidadosa do material contaminado, este tipo de dragagem está muitas vezes ligado a um futuro tratamento e reutilização dos materiais.

As suas principais características são:

- Pequenas quantidades de material;
- Sedimentos com elevada percentagem de contaminantes;
- Solos de resistência variável;
- Actividade de dragagem não repetitiva (caso esteja controlada a fonte de contaminação).

No entanto, as dragagens independentemente da sua categoria podem ter várias finalidades. Apresentam-se a seguir, alguns dos seus principais objectivos.

2.2 PRINCIPAIS OBJECTIVOS DAS DRAGAGENS

As dragagens são normalmente levadas a cabo com o intuito de atingir um ou uma combinação dos seguintes objectivos (Bray *et al.*1997; Puertos del Estado y Ministerio de Fomento 2008):

- Escavar material debaixo de água, aumentando a profundidade de um rio, lago ou mar ou construindo tuneis submersos;
- Utilizar os dragados para a execução de aterros, criando por exemplo ilhas artificiais;
- Substituir o material em meio subaquático, no caso de se pretender um incremento na qualidade do material;
- Obter materiais de construção;

- Obter minerais;
- Melhorar o ambiente.

a) Escavação de material

No que respeita a dragagens portuárias, a escavação de material pode estar associada à construção, à navegação ou à manutenção. Na área da construção esta pode servir para criar novos portos, docas ou canais, assim como para escavar valas para fundações, imergir tubagem ou enterrar condutas. Ligada à navegação serve, por exemplo, o propósito de aumentar a profundidade ou ampliar portos, canais e rios, podendo também auxiliar a remoção de potenciais obstruções como blocos, corpos rochosos ou bancos de areia. Um exemplo disso foi a ampliação do terminal de granéis sólidos do Porto da Figueira da Foz (Santos-Ferreira *et al.* 2011a). Quando se trata de manutenção, os trabalhos realizados são a remoção de sedimentos de portos, canais e rios para manter as profundidades operacionais ou a remoção de material de lagos e reservatórios para restaurar a capacidade de armazenamento de água.

b) Execução de aterros com dragados

A execução de aterros com dragados está essencialmente relacionado com a construção e com a protecção da costa; acresce ainda a construção de ilhas artificiais para a construção de aeroportos) ou para fins turísticos. Na construção está ligada a trabalhos de ampliação de plataformas de portos ou melhoramentos de terrenos em setores como a indústria, a agricultura, as estradas e outros tipos de obras, como por exemplo o preenchimento de valas para a fundação de quebra-mares ou caixões. A defesa da costa pode ser melhorada através da formação de diques e da criação ou alimentação de praias (PIANC, 1992).

c) Substituição de solos de fundação inadequados

A substituição de solos de fundação inadequados está ligada à área da construção, no caso de ser necessário dragar material não adequado para a execução de fundações e substituí-lo por dragados de melhor qualidade provenientes de outro local.

d) Obtenção de materiais de construção

À semelhança dos processos descritos anteriormente, também este está ligado à construção. Neste caso pretende-se obter materiais que podem ser usados na criação de aterros ou como agregados para o fabrico de betão.

e) Obtenção de minerais

A obtenção de minerais está associada ao sector da mineração, em que podem ser escavados minerais, como por exemplo nódulos de manganês, ouro ou estanho, no mar ou em fundos de rios.

f) Melhorias ambientais

As melhorias ambientais realizadas pelas dragagens têm três diferentes acções: descontaminação, cobertura ou intervenção em habitats. Quando ligadas à descontaminação, visam escavar e remover material contaminado para ulteriormente ser depositado em local seguro ou processado em centrais de

tratamento. Outra reutilização dos dragados pode ser a cobertura, no caso de se obter material limpo e inerte para cobrir sedimentos contaminados, funcionando como uma camada de selagem. Podem ainda ser melhoradas as condições de diversos habitats, como por exemplo pântanos, com a deposição de dragados, ou reforço de restingas e praias (Dias et al 2012).

Em seguida descrevem-se sucintamente alguns dos tipos de trabalhos específicos associados às dragagens.

2.3 TIPOS DE TRABALHOS

As dragagens podem ser consideradas processos de construção. Pelo que, as áreas intervencionadas podem ser assumidas como estruturas temporárias, formadas durante a execução dos trabalhos e subsequentemente preenchidas, ou estruturas permanentes como canais de navegação ou docas (Bray *et al.* 1997). O facto da área a dragar não ser directamente visível nem estar normalmente sujeita a colapso leva a que seja atribuída pouca atenção ao seu projecto. No entanto, um projecto de dragagens de ampliação de um porto ou da construção de condutas subaquáticas perfaz muitas vezes valores da ordem dos 50% em relação ao custo total da obra. Como tal, considera-se importante despender tempo a estudar e analisar este tipo de projectos. Os mais comuns englobam a melhoria de navegação, a construção, a melhoria da eficiência hidráulica, aspectos ambientais e obtenção de materiais para aterro, como se caracterizam de seguida.

a) Melhoria de navegação

As dragagens são muitas vezes executadas para permitir a navegação de navios num determinado percurso de água. As características dos navios definem na maior parte das vezes os projectos de dragagens. Segundo PIANC (1991), no caso de embarcações pequenas, a área a dragar vai depender principalmente do tipo de embarcação, isto é, se esta é movida à vela ou a motor, e das características que se pretendem proporcionar. Quando as embarcações são de grande dimensão é necessário estudar a ligação que a sua manobrabilidade e hidrodinâmica tem com a sua velocidade de navegação e as distâncias laterais para o canal e entre o casco e a popa. Recomenda-se que o projecto da área a dragar seja precedido de um estudo de economia dos transportes, comparando o custo da obra com os benefícios que esta trará.

b) Condutas e cabos

Existe frequentemente a necessidade de colocar condutas ou cabos subaquáticos, como por exemplo para oleodutos ou emissários submarinos. Estes podem ser colocados em profundidades que variam entre zero e a centena de metros. Em águas profundas, os cuidados podem ser mais reduzidos, podendo estes ser colocados com pouca ou nenhuma preparação e/ou protecção. Mas quando se tratam de águas pouco profundas ou mais movimentadas, devem ser enterrados de forma a prevenir que sejam danificados ou movidos por correntes, âncoras ou actividades de pesca.

O método geralmente utilizado para enterrar condutas e cabos consiste em escavar uma vala subaquática, colocá-los na vala e depois cobri-los utilizando o solo / rocha anteriormente dragados ou utilizando um solo, rocha ou armadura de uma fonte externa. Os equipamentos de dragagem são

utilizados tanto na escavação, como no preenchimento das valas. Todavia, o facto de as valas serem necessariamente estreitas e normalmente escavadas em águas pouco profundas coloca alguns problemas aos equipamentos de dragagem. Devem então projectar-se as valas com precaução, tendo sempre em conta o tipo de equipamento que vai ser usado para executar a escavação. No caso da vala projectada estar perto de uma margem ou de um banco de areia, a altura de água é tão reduzida que se torna mais fácil escavar por métodos de ensecadeira.

Os diferentes tipos de equipamentos de dragagens são descritos na secção seguinte – 2.4.

O preenchimento da vala é uma operação importante, pelo que um projecto inadequado pode levar a um aumento considerável no custo da obra. Considera-se por isso prudente, não só garantir que o método construtivo escolhido é de facto executável nas condições ocorrentes, como também combinar os custos da sua execução com os restantes, referentes à dragagem e à colocação dos elementos, procurando minimizar o custo total.

c) Substituição de solo

Sempre que existe um solo que não é considerado competente para o propósito pretendido pode ponderar-se a substituição desse solo por outro mais adequado. As dragagens podem ser realizadas com esse intuito. Bray *et al.* (1997) fornece três exemplos da aplicação das dragagens à substituição de solo:

- i) No caso de se desejar construir um quebra-mar e o material presente na área ser demasiado brando para fundar a estrutura;
- ii) Quando se pretende recuperar uma área de solos não consolidados em que o tempo necessário para a consolidação dos materiais de fraca qualidade é demasiado longo e irá atrasar o compromisso estabelecido para a construção da obra pretendida;
- iii) No caso de se estar na presença de argilas moles de origem marinha, que se encontram em cima de materiais muito duros, estas não oferecem estabilidade lateral quando são penetradas por estacas prancha. Como tal devem ser substituídas por um material mais apropriado.

Quando se estiver na presença de áreas extensas de material brando, em que o volume de dragagens nos taludes for uma pequena porção do seu total, os projectos de dragagens não apresentam grande complexidade. O mesmo não acontece no caso de se estar a dragar valas relativamente estreitas, onde podem estar presentes os casos i) e iii). Algo que se explica com a ambição de dragar uma quantidade mínima de solo, de forma a permitir um custo reduzido, e se torna difícil na presença daquele tipo de materiais.

d) Materiais de empréstimo

As dragagens permitem obter materiais granulares para preenchimento. Normalmente estes são depósitos de areia que estão situados no fundo de um rio ou do mar. No entanto, salienta-se que devem ser desenvolvidos estudos previamente à execução das dragagens, nomeadamente para analisar a forma da área de empréstimo e os volumes de materiais que podem ser extraídos.

Existem vários aspectos a considerar (*op. cit.* 1997):

- Devem ser definidos os limites da escavação, tendo em conta o tamanho e forma do depósito de empréstimo e a draga que vai ser usada para a sua extracção;
- As zonas de passagem de linhas de energia ou telecomunicações devem ser evitadas de modo a não causar nenhum dano na infraestrutura já construída;
- Os taludes da área de empréstimo devem ser o mais suave possível, de forma a serem estáveis e a draga conseguir manter o seu perfil;
- A altura de água presente deve ser suficiente para permitir a execução do plano de dragagem delineado;
- Algumas porções de material não são dragadas, nomeadamente as que estão em cantos inacessíveis à draga ou se encontram por baixo de materiais rijos, algo que deve ser estimado para não afectar o volume de empréstimo pretendido;
- Dependendo do tipo de draga, pode ocorrer perda de material que transborda, aquando da sua colocação nos batelões;
- O material que envolve a área de empréstimo tem que ser removido para permitir o seu acesso. Após a sua remoção, este deve ser realocado, podendo ser depositado de volta no local de exploração.

e) Desenvolvimento e manutenção de canais

Os processos de desenvolvimento de canais consistem em alguns princípios básicos. Deve definir-se um tempo de vida útil apropriado à obra a realizar assim como o seu potencial futuro, englobando possíveis projectos de extensão mais complexos. De modo a escolher a solução mais apropriada, devem ser analisadas várias alternativas de desenvolvimento, comparando a sua relação de custo-benefício.

O método de estimação dos custos e benefícios do desenvolvimento dos canais é um processo iterativo que utiliza uma quantidade considerável de dados. Recomenda-se que seja utilizada para produzir resultados uma combinação de técnicas computadorizadas com análise estatística. A intervenção pericial é algo que vai condicionar a forma como os resultados vão ser interpretados e consequentemente a decisão tomada, por isso recomenda-se que haja um conhecimento profundo nas ferramentas anteriormente descritas. Uma boa análise económica é determinante neste tipo de projectos.

f) Projecto de cais

Apesar da escolha do tipo de estrutura do cais não estar directamente ligada às dragagens, considera-se expressivo ter em conta esta intervenção. Sendo assim existem três aspectos a considerar:

- Se a dragagem vai ocorrer antes ou depois da construção do cais;
- Se a cota de dragagem será aumentada no futuro e qual o projecto de cais que facilitará isso;
- Se as tolerâncias da dragagem são importantes tendo em conta o método construtivo utilizado.

Tendo em conta o caso de estudo da presente dissertação, apresentado no Capítulo 5, considera-se ainda relevante chamar a atenção para a problemática da frequência com que nos portos se realizam dragagens de manutenção. Porque as mudanças introduzidas na dinâmica da massa de água presente podem modificar as condições de sedimentação do local. Algo que pode afectar de forma significativa

os custos de manutenção dos portos, como tal deve ser tido em conta no momento de decidir qual a estrutura a implementar.

g) Ilhas artificiais

A construção de ilhas artificiais é um tipo de trabalho desenvolvido pelas dragagens, em que os materiais são dragados de um local para posteriormente serem depositados noutra, afim de criar uma ilha artificial. Exemplos disso são as ilhas Palmeiras do Dubai (Emirados Árabes Unidos) e o Aeroporto de Macau (China).

h) Túneis submersos

Para a construção de túneis submersos é necessário dragar uma trincheira para que depois seja possível construir o túnel. Exemplos deste tipo de trabalhos são os túneis do Bósforo (Turquia) e de Messina (Itália).

Na seguinte tabela (2.1) sintetizam-se os principais objectivos associados às dragagens e os tipos de trabalhos descritos anteriormente.

Tabela 2. 1 - Tabela de síntese dos objectivos e tipos de trabalhos das dragagens

Objectivos	Tipos de trabalhos
<ul style="list-style-type: none">• Escavação de material;• Execução de aterros com dragados;• Substituição de solos de fundação inadequados;• Obtenção de materiais de construção;• Obtenção de minerais;• Melhorias ambientais.	<ul style="list-style-type: none">• Melhoria de navegação;• Conduitas e cabos;• Substituição de solo• Materiais de empréstimo• Desenvolvimento e manutenção de canais;• Projecto de cais;• Ilhas artificiais;• Túneis submersos.

2.4 EQUIPAMENTOS DE DRAGAGEM

Existe uma grande variedade de equipamentos de dragagem, alguns mais específicos, outros mais versáteis. Se se tiver algum cuidado ao planear e estudar os trabalhos de dragagem, consegue-se reduzir a quantidade de equipamentos utilizados, aumentando a eficiência de cada um.

A seguir são apresentados alguns dos principais tipos de dragas, assim como as suas mais valias e limitações. Estes categorizam-se em dragas mecânicas e hidráulicas, embora algumas possam ser classificadas de mistas.

2.4.1 Dragas mecânicas

2.4.1.1 Draga de baldes

A draga de baldes – Figura 2.1 - consiste numa cadeia de baldes que escava o material do fundo e o eleva até à superfície, despejando-o numa calha que, por sua vez, o transporta até ao batelão. O baldes são invertidos à medida que passam nos pontos de viragem de fundo e base, permitindo que o equipamento tanto escave como deposite num ciclo contínuo. A corrente que liga os baldes é feita de aço e pode ser comandada eléctrica ou hidraulicamente. A escada de baldes está montada no centro de uma balsa rectangular longa.

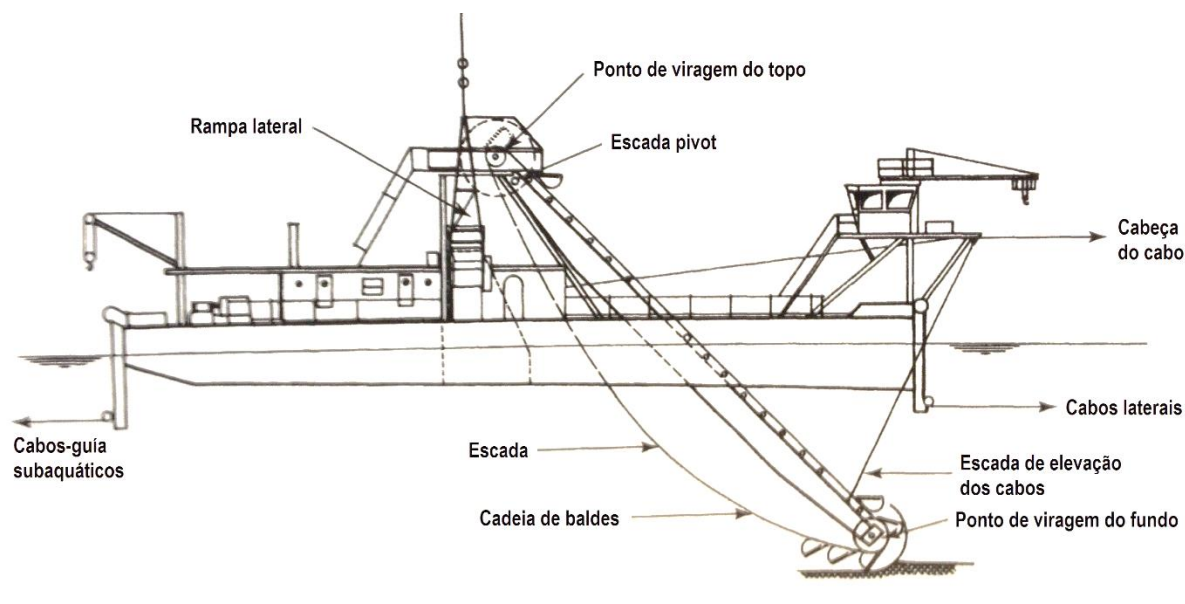


Figura 2. 1 - Principais componentes de uma draga de baldes (Adaptado de Bray *et al.*1997)

Este tipo de draga é normalmente usada para dragagem de precisão, como os casos da escavação de tuneis ou instalação de condutas. No entanto, tendo em conta a densidade elevada do material escavado, a draga de baldes pode ser bem adaptada à escavação de materiais granulares finos quando a adição de água no transporte pode ser considerada um problema e são necessárias boas condições geotécnicas no local de deposição. O facto de o material ser elevado em contacto directo com a água é considerado um inconveniente para projectos de recuperação ambiental (Bray 2008).

A Tabela 2.2 apresenta algumas vantagens e limitações deste tipo de dragas.

Tabela 2. 2 - Vantagens e limitações da draga de baldes

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> • Processo de dragagem contínuo; • Diluição de material dragado pela água pouco significativa; • Capacidade adequada de carga dos batelões sem transbordar; • Controlo adequado da profundidade de dragagem; • Permite dragar materiais soltos perante ondulação moderada; • Precisão elevada; • Deixa uma superfície de dragagem limpa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer um fundeamento, o que pode perturbar a navegação; • Dependência de batelões para carga; • Baixa eficiência quando apenas se pretende dragar uma profundidade pequena de material; • Nível de ruído elevado; • Em materiais coesivos viscosos, os baldes podem não fazer a descarga correctamente; • Não é capaz de operar da melhor forma em águas pouco profundas; • Provoca alguma suspensão de sedimentos e turvação.

Salienta-se que, apesar da capacidade adequada de carga dos batelões sem transbordar, as perdas podem ser significativas quanto a derrames nos baldes e quando se carregam materiais soltos nos batelões. Algo que pode ser evitado com uma operação mais cuidadosa, embora conduza a uma redução da produtividade.

Quando se draga materiais de resistência elevada, como argilas duras ou rochas brandas, a draga é equipada com baldes mais robustos mas em contrapartida de menor capacidade e conseqüentemente menor velocidade de correia. A força de escavação do balde depende de diversos factores como a sua forma, construção e capacidade, a dimensão da draga, a potência e características do sistema de movimento da correia.

Este tipo de draga é normalmente classificada tendo em conta o volume do balde, que pode variar entre 100 e 1000 litros. A sua profundidade de dragagem, um factor também importante mencionar, varia entre 5 e 30 m. O seu ritmo de produção está no intervalo de 50 e 1100 m³/h.

2.4.1.2 Equipamento nivelador de fundo

Existem dois tipos de aplicações para estes equipamentos. Eles podem ser usados independentemente para mover materiais em curtas distâncias ou podem ser utilizados para melhorar a eficiência das operações com dragas.

As principais componentes do equipamento nivelador de fundo - *bed leveller* - estão representadas na Figura 2.2. Este é movido por arraste e a potência necessária depende da espessura e da resistência ao corte do material a ser removido. Por exemplo, para uma aplicação comum – siltes recentemente

depositados – é necessária uma potência de aproximadamente 100 cavalos por cada metro de largura do equipamento (Bray *et al.* 1997).

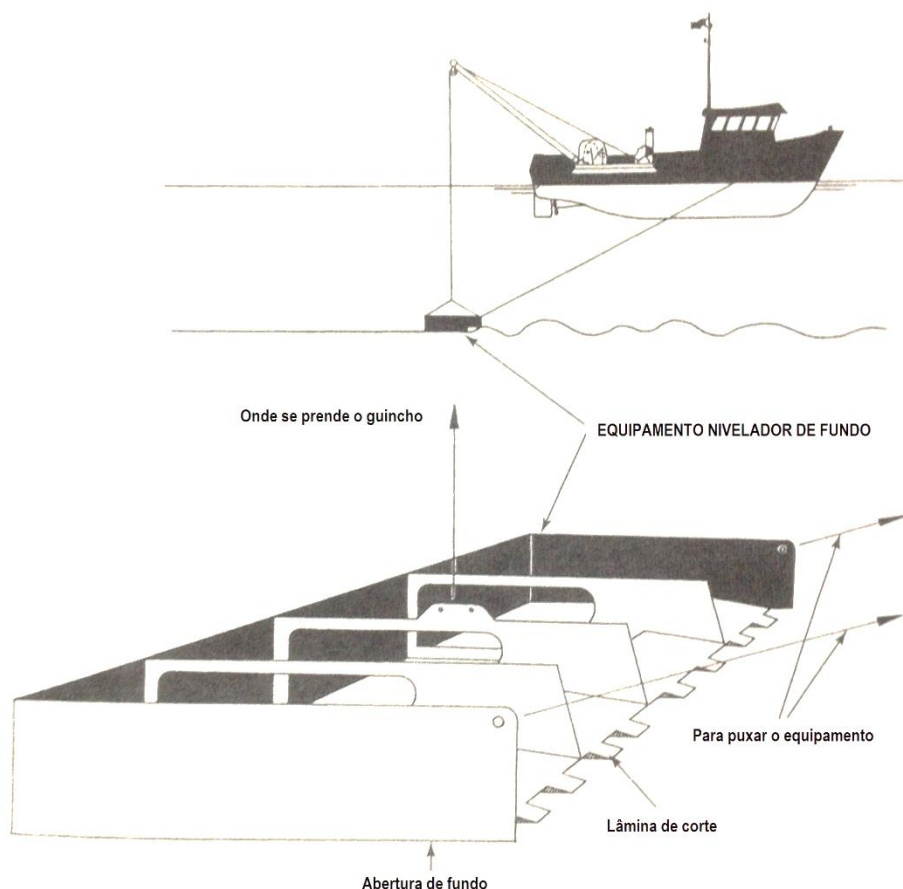


Figura 2. 2 - Principais componentes de um equipamento nivelador de fundo (Adaptado de Bray *et al.* 1997)

Quando usado independentemente, o equipamento nivelador de fundo move material de áreas relativamente pouco profundas para áreas mais profundas, em distâncias curtas. Quando usado em conjunto com outras dragas, este pode aliviar algumas limitações dessas dragas. O equipamento nivelador de fundo consegue mover material de áreas inacessíveis a outras dragas para áreas a que estas já consigam aceder, facilitando as operações. Outra possível utilização é a de nivelar áreas onde ocorreram dragagens de grande volume de material e onde o fundo ficou algo irregular. O uso deste equipamento permite melhorar significativamente a eficiência e o custo de operações de dragagem.

As vantagens deste equipamento estão associadas à não criação de camada de derrame e à fraca diluição que ocorre durante o processo. As limitações são a baixa precisão, o fraco controlo na profundidade de dragagem e a ocorrência de alguma agitação de sedimentos e turvação na água.

Os equipamentos niveladores de fundo são normalmente classificados de acordo com a sua largura ou superfície de arraste, sendo que a primeira varia entre 3 e 35 m e a outra varia entre 1.5 e 50m². O seu ritmo de produção depende essencialmente do tamanho das suas lâminas de corte, que no máximo vão até 35 m de largura e 2 m de altura. Nesse caso a sua produtividade pode chegar aos 2000 m³/h (Bray 2008).

2.4.1.3 Draga de mandíbula sobre balsa

A *Grab pontoon dredger* consiste numa mandíbula agarrada a um guindaste montado sob uma balsa – Figura 2.3. Esta draga, descarrega directamente o material num batelão, não passando este por nenhuma calha ou porão. É possível dragar sem interrupções, o que permite um ritmo de produção geral superior ao da *Grab hopper dredger* – descrita na secção seguinte.

A balsa possui o guindaste montado em uma das suas pontas e é fixada com base em âncoras ou guichos. As balsas de maior dimensão podem possuir ainda alojamento para a tripulação, no caso de trabalhos mais prolongados e distantes.

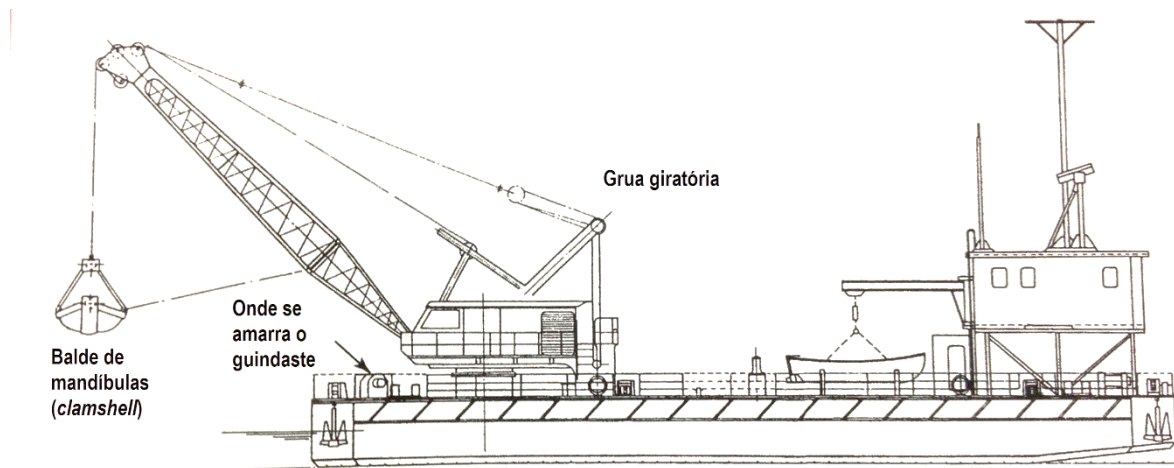


Figura 2. 3 - Principais componentes da *Grab pontoon dredger* (Adaptado de Bray *et al.* 1997)

Existem vantagens ao utilizar este tipo de dragas, assim como também algumas limitações. Algumas apresentam-se listadas na Tabela 2.3.

A construção e operação deste tipo de draga é relativamente simples e barata. A profundidade final de dragagem depende muito da perícia do operador, visto ser difícil dragar o fundo todo de igual modo, especialmente em águas profundas em que a intensidade da corrente pode ser significativa. A sobredragagem pode ser elevada, particularmente em solos coesivos, e tende a aumentar à medida que se usam mandíbulas de dimensão superior. A única força de penetração usada para penetrar os materiais é o peso próprio da mandíbula, como tal a gama de materiais possíveis de dragar economicamente e sem pré-tratamento é reduzida.

Este tipo de draga é normalmente classificado tendo por base a sua capacidade de balde. Essa capacidade varia entre 0.75 e 200 m³, apesar de não ser frequente baldes com mais de 20m³ (Bray *et al.* 1997).

Tabela 2. 3. Principais vantagens e limitações da Grab pontoon dredger

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> • Carrega material com perturbação e diluição baixas quando comparada com dragas hidráulicas; • Ao fazer a carga pela mandíbula reduz os efeitos adversos de dragar pedregulhos, detritos ou lixo, fazendo com que seja fácil remove-los; • Adapta-se bem a dragar áreas confinadas, como perto de cais, entradas de docas ou à volta de molhes; • A profundidade de operação é apenas limitada pela capacidade de elevação da corda que suporta a mandíbula; • A balsa de suporte é geralmente pequena, o que permite dragar em águas de pouca profundidade; • Capacidade de dragar valas estreitas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ritmo de produção relativamente baixo quando comparada com os outros tipos de dragas do mesmo tamanho; • Pouco preciso na profundidade de dragagem final, o que leva à necessidade de sobredragar para não deixar o fundo irregular; • A combinação dos dois pontos anteriores leva a custos elevados, particularmente em áreas extensas.

2.4.1.4 Draga de mandíbula autopropulsionada

A *Grab hopper dredger* consiste num navio com um porão integrado, em que o carregamento é feito por uma ou mais mandíbulas montadas no guindaste – Figura 2.4. O processo decorre com a draga estacionada com recurso a âncoras.

A capacidade deste tipo de draga é normalmente inferior a 1500 m³ e o número de mandíbulas raramente excede as quatro, podendo ocasionalmente ser instaladas também mandíbulas hidráulicas para envolver as outras. O método de descarga mais usado é a abertura das portas giratórias presentes na base, à semelhança do que se faz em dragas de sucção e arraste – descritas mais adiante na secção 2.4.2.1.

As principais vantagens da *Grab hopper dredger* são em muito semelhantes às da *Grab pontoon dredger* descrita na secção anterior. No entanto, o facto de possuir um porão incorporado e autopropulsão faz com que seja considerada uma unidade de operação totalmente independente. Considera-se ideal para realizar dragagens dispersas e de pequeno volume. A autopropulsão permite que opere em condições de alto mar mais severas que a *Grab pontoon dredger*.

As desvantagens deste equipamento, para além das descritas na secção anterior, são o seu grande calado, o seu reduzido ângulo de operação e o tempo despendido para baixar e levantar a âncora sempre que se inicia ou termina uma carga.

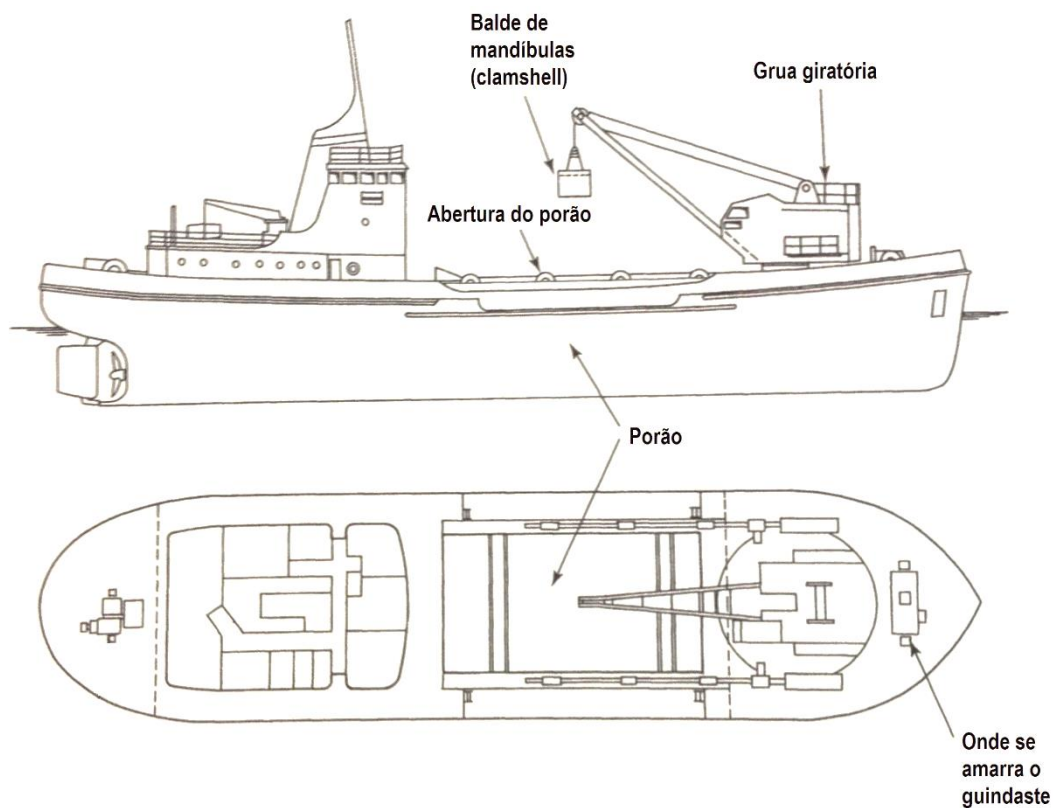


Figura 2. 4 - Principais componentes da Grab hopper dredger (Adaptado de Sanz Bermejo 2001, citado por Muñoz 2011)

As dragas de mandíbulas são maioritariamente usadas em projectos pequenos de dragagens e em locais de difícil acesso, em que estão presentes solos muito compactados.

Os custos de operação destas dragas são elevados relativamente a outras de sucção e de arraste. A sua classificação tem normalmente por base a capacidade do seu porão, que pode variar entre 50 e 2500 m³. Os seus ritmos de produção podem ser sofisticados nas dragas de maior dimensão, variando entre 1000 e 2000 m³/h (Bray 2008).

2.4.1.5 Draga estacionária

A *Dipper dredger* é uma draga que é robustamente construída e que opera através de cabos. Esta tem vindo a ser substituída pela draga de retroescavadora hidráulica ao longo dos tempos. Ambas são montadas numa balsa rígida, devidamente assistida por estacas cravadas no solo (*spuds*), para proporcionar os apoios necessários à penetração dos materiais. As principais componentes desta draga estão representadas na figura 2.5.

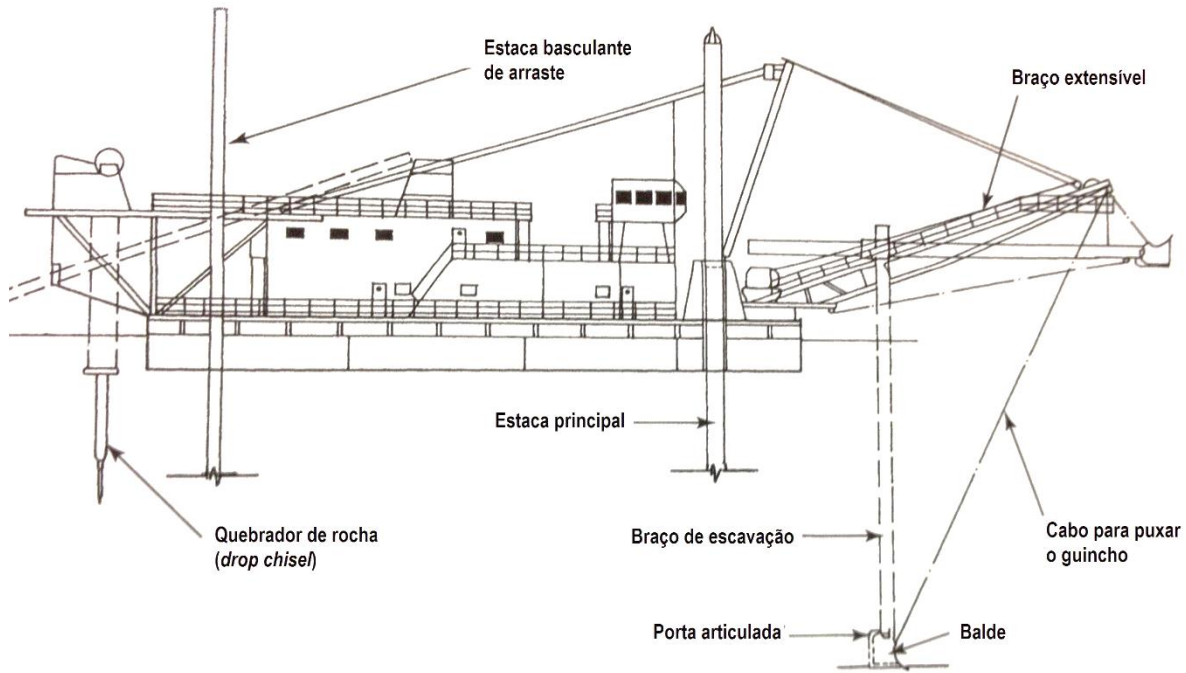


Figura 2. 5 - Principais componentes da draga estacionária (Adaptado de Bray *et al.* 1997)

Seguidamente apresenta-se a tabela 2.4, onde estão sintetizadas as principais vantagens e limitações da draga estacionária.

Tabela 2. 4 - Vantagens e limitações da draga estacionária

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de dragar uma vasta gama de materiais (incluindo rochas brandas e argilas duras); • Permite operar em mar onde a ondulação é moderada; • Ter profundidade de água suficiente para operar, independentemente do nível de pré-dragagem. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ritmo de produção baixo quando comparada com dragas de produção contínua; • Profundidade de dragagem limitada; • Custos elevados em relação à capacidade produtiva.

Os equipamentos que operam através de cabos têm no geral capacidade para dragar a profundidades maiores que os equipamentos hidráulicos. Todavia, a sua construção é considerada rude e pouco sofisticada, levando a que os ciclos de trabalho sejam mais lentos. Os projectos em que estas se aplicam são normalmente específicos, sendo a sua construção propositada para servir o efeito, enquanto os modelos hidráulicos são construídos em série, podendo ser aplicados a diversos tipos de projectos.

2.4.1.6 Draga retroescavadora hidráulica

A draga retroescavadora hidráulica foi criada evoluindo a conhecida retroescavadora hidráulica que opera em terra. A retroescavadora é então montada num pedestal numa das extremidades de uma balsa dando origem à draga. As suas principais componentes estão representadas na Figura 2.6.

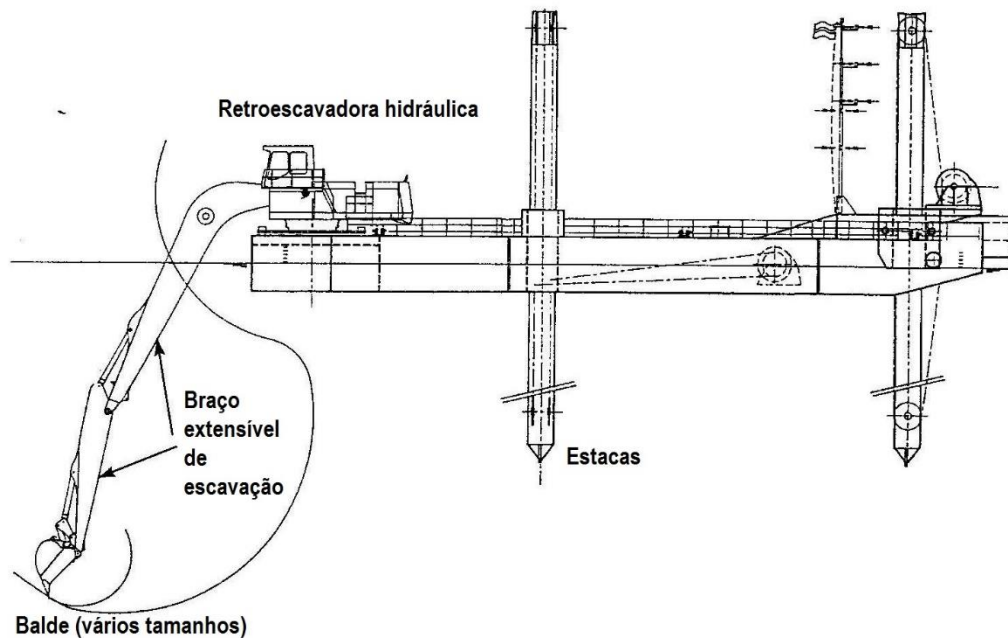


Figura 2. 6 - Principais componentes da draga retroescavadora hidráulica (Adaptado de Bray *et al.* 1997)

A draga retroescavadora tem evoluído ao longo dos tempos com a construção de retroescavadoras mais largas de forma a providenciar uma maior potência de escavação. É importante que a balsa esteja segura, de forma a aguentar o choque, para que se possa tirar proveito de todo o potencial deste equipamento de dragagem. A localização das estacas é importante, de modo a fornecer a reacção positiva necessária à força de escavação, especialmente quando se está a dragar em terrenos mais competentes.

Devido à origem deste tipo de equipamento – retroescavadora hidráulica que opera em terra – os seus componentes são fabricados em série, o que faz com que o seu custo seja mais reduzido e considerado um produto mais desenvolvido e testado. Para operar a draga é necessário apenas um trabalhador, no entanto as tripulações devem ser de dois ou três, para garantir a segurança e realizar operações de movimento e manutenção da balsa.

Ocasionalmente a balsa pode possuir autopropulsão, mas esta apenas é usada para movimentações no campo de trabalho. No entanto, pode ser montada uma retroescavadora hidráulica numa balsa com autopropulsão (à semelhança da *Grab hopper dredger*), providenciando uma operação e mobilidade totalmente independentes.

A draga retroescavadora hidráulica é mais eficiente quando opera de marcha atrás, isto é, encontrando-se a balsa por cima da área a dragar. No entanto, nem sempre é possível operar desta forma, porque a altura de água pode ser menor que o espaço ocupado pela balsa dentro de água. A produtividade

está directamente relacionada com a profundidade do material a dragar, o que faz com que se obtenha uma baixa eficiência em algumas dragagens de manutenção, em que a profundidade é baixa.

A aplicação mais comum deste tipo de draga está ligada a pequenos projectos de dragagem de solos com resistência ao corte considerável.

A seguir sintetizam-se, na Tabela 2.5, as vantagens e limitações destes equipamentos.

Tabela 2. 5 - Vantagens e limitações da draga retroescavadora hidráulica

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none">• Capacidade de dragar uma ampla gama de materiais, incluindo aqueles que contêm pedregulhos;• Capacidade de operar em espaços confinados;• Controlo preciso de posição e profundidade;• Ausência de ancoragens e os seus fios associados;• Baixa diluição e perturbação do material a ser dragado;• Ciclo mais rápido que a draga de mandíbulas de tamanho equivalente.	<ul style="list-style-type: none">• Ritmo de produção baixo quando comparada com dragas de produção contínua, como draga de sucção com cabeça cortante ou draga de balde;• Superfície dragada pode ficar irregular se o operador for inexperiente ou se se estiver na presença de materiais de resistência variável;• Baixa precisão comparada com a draga de baldes;• Provoca alguma suspensão de sedimentos e turvação.

Este tipo de dragas é normalmente classificado de acordo com a sua capacidade máxima de balde de escavação. Esta pode variar entre 1 e 40 m³. O tamanho do balde usado vai depender do tipo de material a dragar e da profundidade de dragagem pretendida. A força de escavar do balde e o peso total que este suporta diminui à medida que a profundidade de dragagem aumenta. Como tal, para dragar materiais competentes e a uma profundidade elevada, não devem ser usados os baldes de dimensão máxima. A profundidade de dragagem deste tipo de equipamento varia entre 4 e 32 metros, enquanto o seu ritmo de produção tem o limite de 1000 m³/h, alcançado com as dragas de maiores dimensões (Bray 2008).

2.4.2 Dragas hidráulicas:

2.4.2.1 Draga de sucção e arraste

De acordo com Bray *et al.* (1997), uma draga de sucção e arraste consiste num navio adaptado para navegação costeira ou em mar alto, que tem a capacidade de encher o seu porão com recurso a uma bomba centrífuga – Figura 2.7. Grande parte destas dragas possui um propulsor duplo e uma proa potente, o que lhe confere uma capacidade de manobrabilidade elevada.

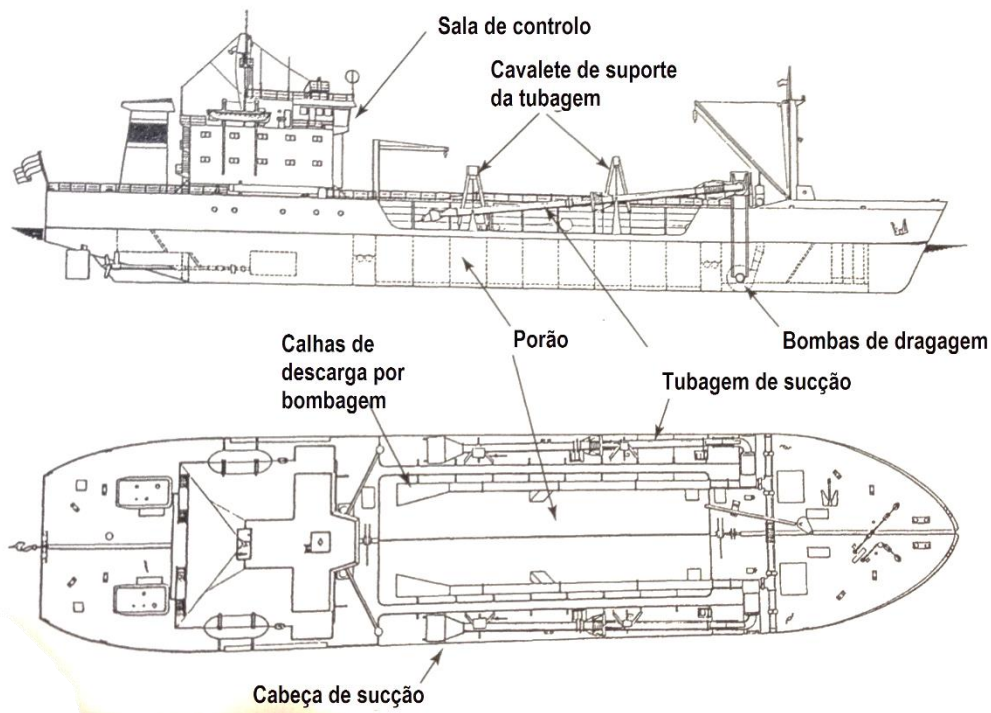


Figura 2. 7 - Principais componentes da draga de sucção e arraste (Adaptado de Bray *et al.* 1997)

Durante a progressão lenta do navio, a cabeça de sucção é arrastada, agitando o material no fundo. O material que se solta juntamente com alguma água é sugado pela bomba centrífuga. O material é sugado para o porão até este estar completamente cheio. Como este está cheio com água e material, o processo de dragagem pode continuar, porque durante o carregamento a draga permite a saída do excesso de água juntamente com alguns materiais muito finos, acumulando assim no porão a fracção mais grosseira e melhorando a eficiência da operação.

Alguns equipamentos mais modernos possuem um *Light Mixture Over Board (LMOB)* – que é um dispositivo que vai bombando os materiais dragados que possuem uma densidade menor que a pré-definida, melhorando ainda mais a produtividade geral da draga em questão. O LMOB é usado geralmente para dragar solos granulares finos e devem ser balanceados o seu custo e efeitos ambientais. O uso deste dispositivo aumenta os custos da dragagem e deve garantir-se que o material que é bombeado para fora é mínimo, caso contrário levaria a um agravamento dos efeitos ambientais da dragagem (Bray 2008).

A descarga dos materiais é feita frequentemente em locais subaquáticos, abrindo para isso as portas de fundo da draga e deixando os materiais cair no fundo do local. No entanto também pode ser executada por bombagem, algo que é mais comum quando se pretende depositar o material directamente na costa.

A draga de sucção e arraste é maioritariamente usada para dragagens de manutenção e aprofundamento de canais, mas também pode ser utilizada para a aquisição de areias de boa qualidade em locais de mar profundo, muitas vezes empregadas na alimentação de praias ou na construção de ilhas artificiais.

A draga de sucção e arraste possui algumas vantagens e limitações, que estão listadas na Tabela 2.6.

Tabela 2. 6 - Vantagens e limitações da draga de sucção e arraste

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> • Imunidade em relação a condições meteorológicas e ondulações; • Opera independentemente; • Efeitos reduzidos em outras embarcações; • Capacidade de transporte de dragados em longas distâncias; • Ritmo de produção relativamente elevado; • Processo de mobilização simples e barato; • Baixa suspensão de sedimentos e turvação, se não usar LMOB; • Baixo derramamento de material solto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incapacidade de transportar materiais mais resistentes; • Inabilidade de operar em áreas restritas; • Sensibilidade em relação a concentrações de detritos; • Ocorre diluição dos dragados durante o processo de carga; • Baixa precisão em relação à draga de sucção com cabeça cortante; • Elevado ruído.

Este tipo de equipamento é classificado de acordo com a sua capacidade de carga, que normalmente varia entre 750 e 35.000 m³. O seu ritmo de produção varia entre 200 e 10.000 m³/h, dependendo do seu tamanho, das características dos solos a dragar e da distância de transporte.

2.4.2.2 Dragagem de sucção com cabeça cortante

A forma mais comum da draga de sucção com cabeça cortante (Figura 2.8) é uma estrutura em balsa sem propulsão. Todavia, existem algumas de maior dimensão, com a forma de um navio e com autopropulsão. Esta draga opera estacionada por fundeamento ao fundo marinho e o seu processo envolve inicialmente uma acção cortante e é seguido por sucção. A descarga é feita frequentemente por bombagem via tubos mas também pode ser executada para batelões.

Esta draga pode ter uma vasta aplicabilidade, no entanto é maioritariamente usada para realizar dragagens de primeiro estabelecimento em solos duros, que têm de ser removidos em camadas espessas. A sua distância de transporte deve ser preferencialmente limitada (máximo 5 a 10 km) de modo a permitir uma tubagem economicamente viável. Em casos ambientalmente sensíveis, o processo operacional deve ser controlado muito cuidadosamente, optimizando o processo de expelição e transporte de material de modo a reduzir o derramamento. Para tal, devem ser analisados diversos parâmetros da draga como as características do braço, da cabeça cortante, do sistema de bombagem e respectiva potência.

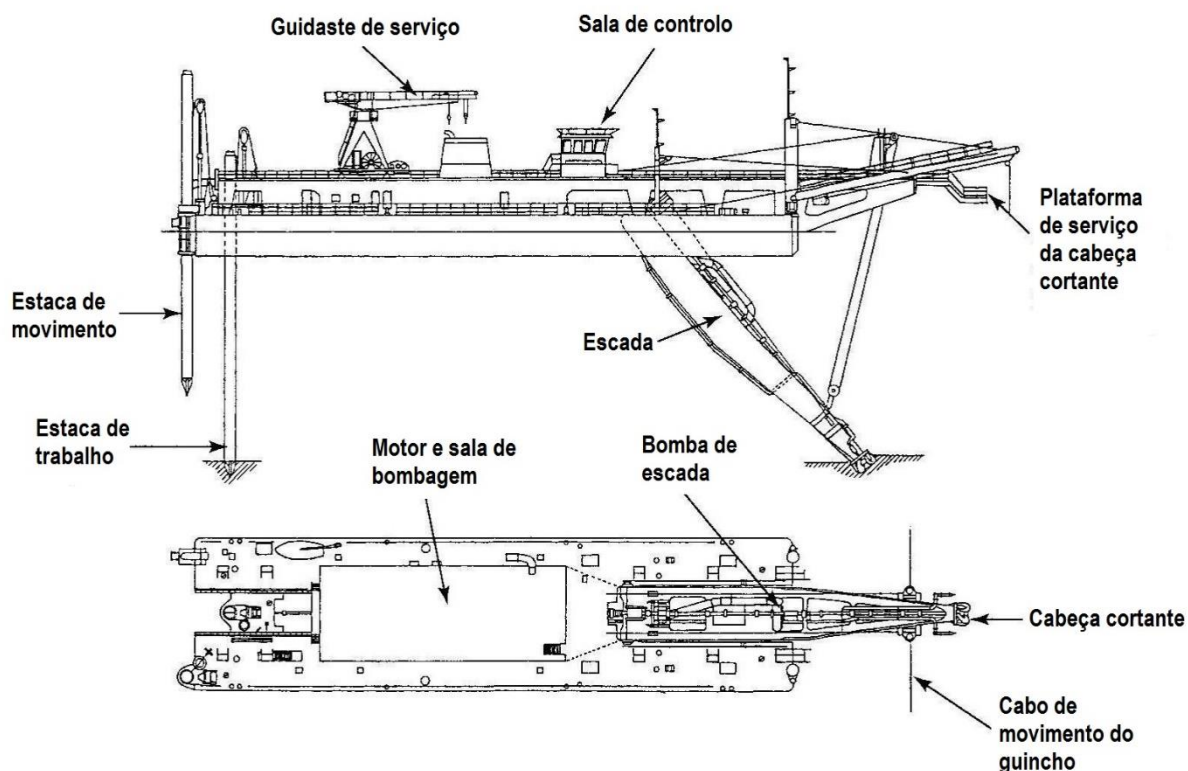


Figura 2. 8 - Principais componentes da draga de sucção com cabeça cortante (Adaptado de Bray *et al.* 1997)

Apresenta-se na Tabela 2.7 as principais vantagens e limitações deste tipo de draga.

Tabela 2. 7 - Principais vantagens e limitações da draga de sucção com cabeça cortante

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de dragar uma vasta gama de materiais, incluindo rochas; • Habilidade de transferir o material por bombagem com água, directamente no local de deposição pretendido; • Opera em águas pouco profundas; • Produz uma superfície de fundo uniforme, tendo boa produtividade; • Permite dragar, em dragas mais modernas, um perfil pré-definido, por exemplo em canais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensível às condições marítimas; • Possui um limite de distância de transporte de material que é economicamente viável; • Ocorre diluição no material dragado; • Profundidade de dragagem limitada; • Elevado custo de mobilização; • No caso de materiais finos pode haver suspensão de sedimentos ou turvação; • Elevado nível de ruído; • Criação de uma fiada de material derramado no fundo.

A draga de sucção com cabeça cortante classifica-se de acordo com o diâmetro do tubo de descarga – que pode variar entre 150 e 1000 mm – ou pela sua potência da cabeça cortante – que pode ir de 15 a 6000 kW. Contudo, as dragas construídas para projectos específicos podem ultrapassar os valores

mencionados anteriormente. Por exemplo uma draga de cabeça cortante projectada para dragar rocha pode ter três vezes mais potência que as referidas. Os ritmos de produção destes equipamentos variam entre 50 e 7000 m³/h, dependendo do tamanho da draga e das características dos solos a dragar.

2.4.2.3 Draga com cabeças injectoras de água

Segundo Muñoz (2011), o princípio deste tipo de sistemas é injectar água em determinados tipos de materiais do fundo marinho, reduzindo a densidade *in situ* a ponto destes se comportarem como líquidos e serem mobilizados.

Esta draga obtém resultados bastante positivos a dragar materiais granulares finos de baixa resistência, quando existe a oportunidade de fluidificar esses materiais para que estes corram para uma zona mais baixa. O objectivo deste tipo de trabalhos não é criar uma pilha de materiais granulares dentro de água, contudo é algo que pode ser alcançado usando estes equipamentos.

Na Figura 2.9 está representado um sistema de dragagem por injeção de água.

Esta draga é usada frequentemente em reservatórios de água onde se acumula uma quantidade considerável de sedimentos, mas também pode ser utilizada em conjunto com outras dragas para remover depósitos superficiais. Este equipamento tem ainda a capacidade de nivelar fundos e de dragar seguramente nas proximidades de cabos e condutas, devido à pouca distância que requer do fundo para operar.

Pelas razões acima mencionadas, se for utilizada com cuidado, esta draga pode servir para projectos ambientalmente sensíveis, tendo sempre em conta que o material não é removido do ambiente intervencionado mas sim movido para outro local dentro do mesmo curso de água. Como tal, considera-se que não convém aplicar esta técnica a casos de remediação ambiental, no entanto esta pode trazer benefícios em intervenções em estuários ou rios, visto ser um método relativamente barato.

Salienta-se que o uso deste tipo de dragas em áreas marítimas deve ser feito durante a maré vazante para que se obtenham os resultados esperados.

As dragas com cabeças injectoras de água classificam-se de acordo com a profundidade de dragagem ou a capacidade do jacto. A profundidade pode variar entre 5 e 25 metros, enquanto a capacidade do jacto está no intervalo de 3000 a 12.000 m³/h. A produtividade deste equipamento varia muito com a localização e tipo de solo, podendo tanto chegar aos 4000 m³/h como ser muito mais baixa (Bray 2008).

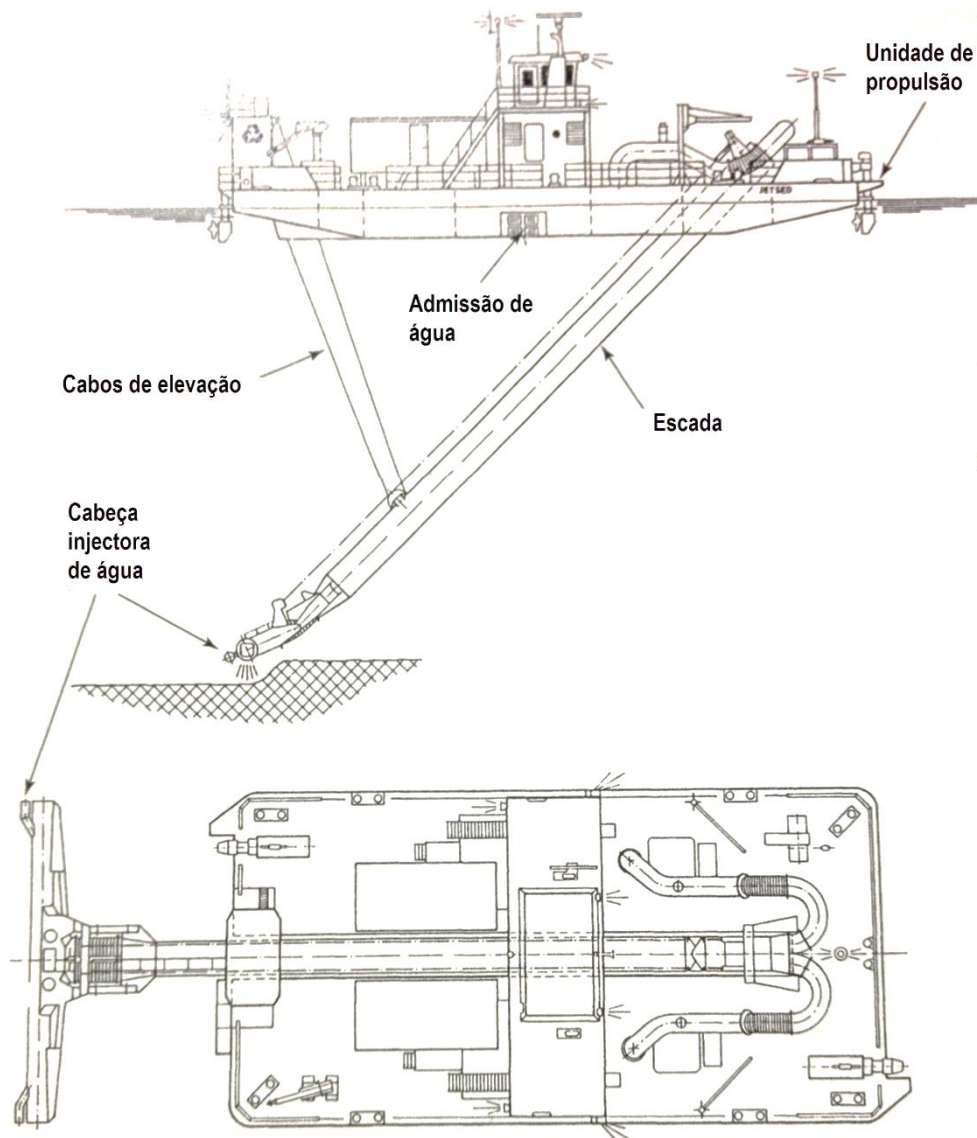


Figura 2. 9 - Principais componentes da draga com cabeças injetoras de água (Adaptado de Bray *et al.* 1997)

Na Tabela 2.8 estão sintetizadas as principais vantagens e limitações deste equipamento.

Tabela 2. 8 - Vantagens e limitações da draga com cabeças injetoras de água

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> • O material original de fundo permanece intocável; • Razoável precisão em dragagens de manutenção • Não ocorre mistura de materiais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Apenas draga materiais recentemente depositados; • Produz uma camada fina de lama no fundo por derramamento; • Diluição inerente ao processo; • Podem gerar correntes turbidíticas e disseminar sedimentos contaminados.

2.4.2.4 Draga de sucção estacionária

A draga de sucção estacionária é, em muitas características, semelhante à draga de sucção e arraste. Mas ao contrário da descrita anteriormente, a draga estacionária não draga em andamento, necessita primeiro de atracar por fundeamento e só depois carrega o porão. Em consequência disso, este tipo de draga não é normalmente usada para abertura e manutenção de canais ou para nivelar áreas.

Apenas materiais relativamente soltos, granulares ou siltosos, podem ser dragados com este tipo de draga. A aplicação de jactos de água para fluidificação dos materiais perto da zona de sucção melhora consideravelmente a sua capacidade de escavação. Esta draga é usada maioritariamente para obter materiais arenosos muito finos de depósitos de mar, estuários ou áreas fechadas. Esta não se considera adequada para projectos ambientalmente sensíveis devido a operar através de jactos de água.

Alguns destes equipamentos estão equipados com funis de descarga e são capazes de transportar materiais para outros locais à semelhança do que fazem as dragas de sucção e arraste, assim como estas também são capazes de operar em modo estacionário. Todavia, a maioria das dragas de sucção estacionárias não possuem porão incorporado, carregando o material dragado para batelões (Figura 2.10) ou bombeando-o através de tubagens directamente para o local de deposição.

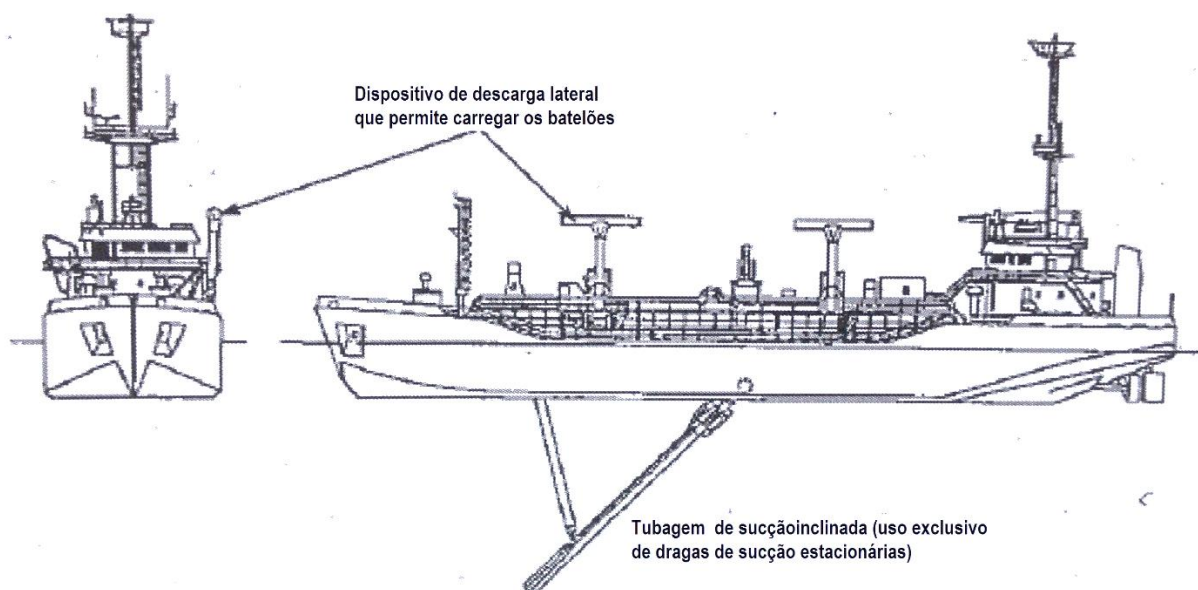


Figura 2. 10 - Draga de sucção estacionária (Adaptado de Sanz Bermejo 2001, citado por Muñoz 2011)

Seguidamente apresenta-se a Tabela 2.9, onde estão sintetizadas as vantagens e limitações deste tipo de draga.

Tabela 2. 9 - Vantagens e limitações da draga de sucção estacionária

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> • Baixa tendência para suspender sedimentos e turvação; • Baixo nível de ruído. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa precisão na escavação, que é considerada descontrolada; • Pouco apropriada para dragagem selectiva; • É expectável algum derrame de material; • Alta taxa de diluição quando comparada com outras dragas hidráulicas.

Este tipo de draga é considerada a forma mais simples das dragas hidráulicas. Como tal possui um maior número de limitações em relação às restantes, que são baseadas nesta mas acrescentadas de ferramentas específicas para o projecto em questão (exemplo de uma cabeça cortante ou *dustpan*). O seu ritmo de produção varia entre 50 e 5000 m³/h, dependendo do tamanho da draga e do tamanho e quantidade de batelões que a assistem.

2.4.2.5 Draga *Dustpan*

A draga *Dustpan*, na sua forma mais comum, consiste numa draga de sucção que descarrega o material através de uma tubagem flutuante de comprimento relativamente curto. Em alguns aspectos é considerada semelhante à draga de sucção com cabeça cortante. A sua principal diferença está na cabeça de sucção, que está representada na Figura 2.11. Esta ao invés de possuir uma acção cortante, tem um jacto de água para desprender e fluidificar os materiais no fundo. Ocasionalmente este tipo de equipamento pode ser construído para projectos específicos, como por exemplo a preparação de fundações.

A sua produtividade é variada, dependendo principalmente das características do elemento de sucção e da sua capacidade de dragar correctamente (Muñoz 2011).

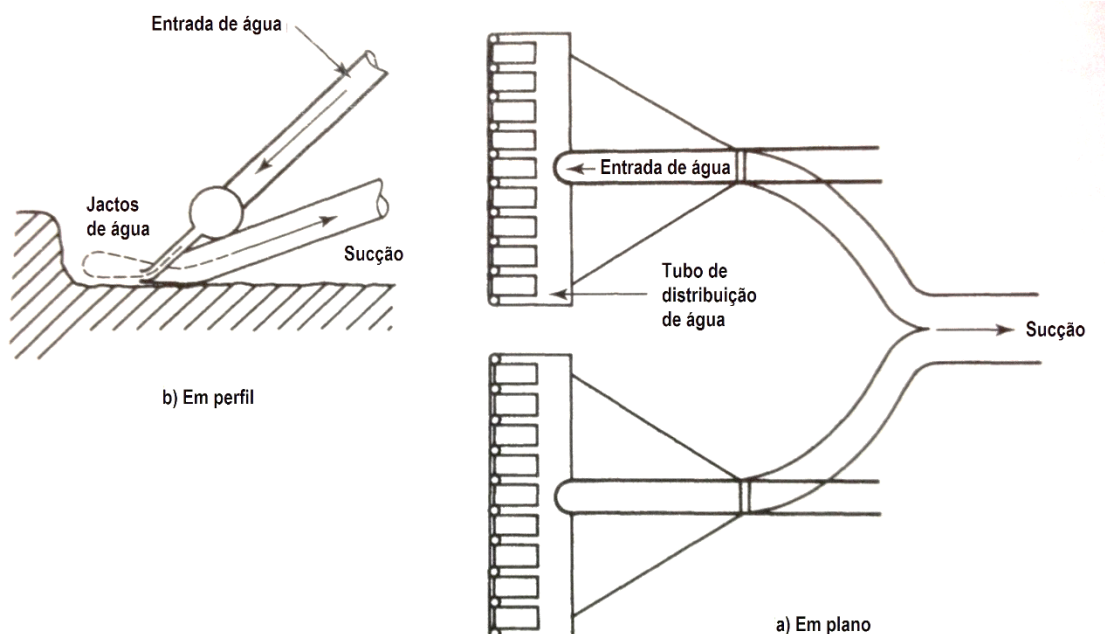


Figura 2. 11 - Cabeça de sucção da draga Dustpan (Adaptado de Bray *et al.* 1997)

Seguidamente apresentam-se algumas vantagens e limitações desta draga – Tabela 2.10.

Tabela 2. 10 - Vantagens e limitações da draga Dustpan

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser posicionada e movida por guinchos, o que permite movimentos rápidos e livres sobre o terreno; • Muito eficaz na remoção de bancos de areia presentes em rios; • Útil para remover depósitos de material solto em áreas extensas; • Também pode ser usada para obter materiais granulares em terrenos mais confinados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não possui nenhum mecanismo de corte, o que limita a sua aplicação a depósitos recentes de materiais não consolidados;

2.4.3 Comparação de desempenho e aplicação

A escolha da draga é considerado um passo de extrema importância num projecto de dragagem. Como tal torna-se necessário sintetizar alguma da informação descrita anteriormente de forma a conseguir um melhor entendimento das matérias estudadas. A comparação entre dragas é um método indispensável para ver as valências dumas em relação a outras.

Na tabela 2.11 é apresentada uma comparação entre dragas de acordo com o seu desempenho em termos ambientais, analisando a segurança, a precisão, a turvação, a mistura de materiais, o derramamento, a diluição e o ruído.

O sinal de mais representa uma aceitabilidade ambiental superior à média; o sinal de menos representa uma aceitabilidade inferior à média; o sinal de quadrado indica que o desempenho ambiental se encontra dentro da média.

Tabela 2. 11 - Comparação das dragas tendo em conta o desempenho ambiental (Adaptado de Bray 2008)

	Segurança	Precisão	Turvação	Mistura	Derrame	Diluição	Ruído
DB	-	+	-/□	□/+	+	+	-
DM	-	-	-/□	□	+	+	+
DRH	-	+	-/□	+	+	+	+
DSA	+/□	-	-/□	-	□	-	+
DSCC	+	+	□/+	□/+	□	□	+
DSE	+	-	+	-	-	□	+
DCIA	+	-	-	-	-	-	+

Legenda: DB – Draga de baldes; DM – Dragas de mandíbulas; DRH – Draga retroescavadora hidráulica; DSA – Draga de sucção e arraste; DSCC – Draga de sucção com cabeça cortante; DSE – Draga de sucção estacionária; DCIA – Draga com cabeça injetora de água.

Salienta-se que a tabela anterior constitui apenas uma síntese geral dos desempenhos ambientais das dragas. Para a selecção de um equipamento para um projecto deve ser realizada uma análise mais aprofundada.

Parâmetros como os tipos de trabalhos a que normalmente se aplicam, os tipos de materiais que conseguem dragar, a produtividade e a profundidade de dragagem são também informação que é importante sintetizar. Como tal construiu-se a Tabela 2.12, apresentada seguidamente, com base na informação descrita nas secções anteriores e referida das fontes citadas.

Salienta-se que alguns dos parâmetros como a precisão, produtividade e profundidade de dragagem são influenciados pela utilização de dispositivos acessórios que os possam maximizar, como por exemplo o LMOB no caso das dragas de sucção e arraste. Como tal existem valores na Tabela 2.10, indicados entre parêntesis, que não são obtidos frequentemente, mas que são possíveis de atingir.

Tabela 2. 12 - Tabela de síntese das dragas e suas características principais

Draga	Domínio de aplicação	Aplicabilidade	Precisão de escavação	Produtividade (m ³ /h)	Prof. de dragagem (m)
DB	<ul style="list-style-type: none"> Escavação de túneis; Instalação de condutas 	Materiais com $\sigma_c \leq 10$ MPa	Aprox. 10cm	50-1100	5-30
ENF	<ul style="list-style-type: none"> Nivelamento de fundos; Movimento de material em curtas distâncias 	Argilas moles a muito moles; siltes; areias soltas a medianamente compactas;	10-20cm	Até 2000	3-30
DM	<ul style="list-style-type: none"> Pequenos projectos; Locais pouco acessíveis 	Materiais com $\sigma_c \leq 1$ MPa	35-50cm	1000-2000	1-50
DE	<ul style="list-style-type: none"> Projectos específicos 	Materiais com $\sigma_c \leq 12$ MPa	-	-	3,5-20
DRH	<ul style="list-style-type: none"> Pequenos projectos com solos coesivos 	Materiais com $\sigma_c \leq 10$ MPa	(10cm)	Até 1000	4-32
DSA	<ul style="list-style-type: none"> Dragagens de manutenção; Aprofundamento de canais 	Argilas com $c_u \leq 75$ kPa	0.5-1m (15-25cm)	200-10.000	4-45 (80/100)
DSCC	<ul style="list-style-type: none"> Dragagens de primeiro estabelecimento solos coesivos duros 	Materiais com $\sigma_c \leq 50$ Mpa	10-25cm	50-7000	0,75-35
DCIA	<ul style="list-style-type: none"> Limpeza de reservatórios e cursos de água com elevadas taxas de sedimentação 	Solos coesivos moles a muito moles; areias soltas a muito soltas	(10cm)	Até 4000	3-15
DSE	<ul style="list-style-type: none"> Obtenção de materiais granulares finos 	Solos granulares	-	50-5000	3-50 (80/100)
DD	<ul style="list-style-type: none"> Remoção de depósitos de material solto em áreas extensas 	Solos coesivos moles a muito moles; areias soltas a muito soltas	10-20cm	Até 4000	1,5-20

Legenda: DB – Draga de baldes; ENF – Equipamento nivelador de fundo; DM – Dragas de mandíbulas; DP – Draga estacionária; DRH – Draga retroescavadora hidráulica; DSA – Draga de sucção e arraste; DSCC – Draga de sucção com cabeça cortante; DCIA – Draga com cabeça injectora de água; DSE – Draga de sucção estacionária; DD – Draga *Dustpan*; σ_c – resistência à compressão; c_u – resistência ao corte não drenada.

Estas operações geram volumes de material significativo, recorrentemente designados por dragados. A forma como os dragados são geridos constitui uma problemática importante, envolvendo aspectos geotécnicos e geoambientais. Nos dois capítulos seguintes apresentam-se alguns desses aspectos e, conseqüentemente, como pode ser feita a respectiva gestão.

3. PROJECTO DE DRAGAGENS

O senso comum vê com frequência os dragados como materiais sujos e impuros, no entanto o material dragado é predominantemente limpo e reutilizável, semelhante ao solo usado para jardinagem ou agricultura. O material dragado é um recurso. Apenas em alguns locais no mundo, geralmente perto de indústrias, existem quantidades significativas de materiais contaminados. Quando a legislação o permite, qualquer projecto de desenvolvimento pode usar material dragado limpo de forma eficaz e sustentável (Bray & Cohen 2010).

3.1 EFEITOS ASSOCIADOS ÀS DRAGAGENS

De modo a gerir da melhor forma os dragados, há que entender primeiro os efeitos associados às dragagens, onde aqueles são obtidos. Os efeitos das dragagens podem ser positivos ou negativos. Idealmente deve ser feito um equilíbrio destes num estudo prévio, de forma a avaliar se o benefício trazido pelo projecto é maior que os seus inconvenientes e se de alguma forma faz sentido avançar com o projecto.

Segundo Bray (2008), os efeitos destes projectos nas áreas que os rodeiam incluem principalmente: as consequências de manusear os dragados em ambiente aquático, a modificação da batimetria e o uso das novas áreas ou infraestruturas que foram criadas. Esses efeitos podem provocar significativas alterações em condições:

- Físico-químicas;
- Biológicas e ecológicas;
- Socio-culturais;
- Económicas e operacionais.

Os dois primeiros grupos de condições estão relacionados directamente com o ambiente e consideram-se no âmbito da presente dissertação. Os restantes dois estão mais relacionados com a sociedade e não são aqui abordados.

3.1.1 Efeitos no ambiente físico

As dragagens induzem frequentemente mudanças nas condições hidrográficas do local, porque alteram a sua batimetria, o que por sua vez interfere com as suas condições de sedimentação. Os possíveis efeitos físicos estão ligados entre si, como mostra a Figura 3.1.

Por sua vez, os efeitos causados pela modificação da batimetria do local dependem de diversos parâmetros:

- Batimetria já existente;
- Forma e localização da área intervencionada em relação a correntes e ondulação;
- Condições hidrográficas com alta ou baixa energia;
- Tipo de materiais dragados e taxas de transporte e sedimentação.

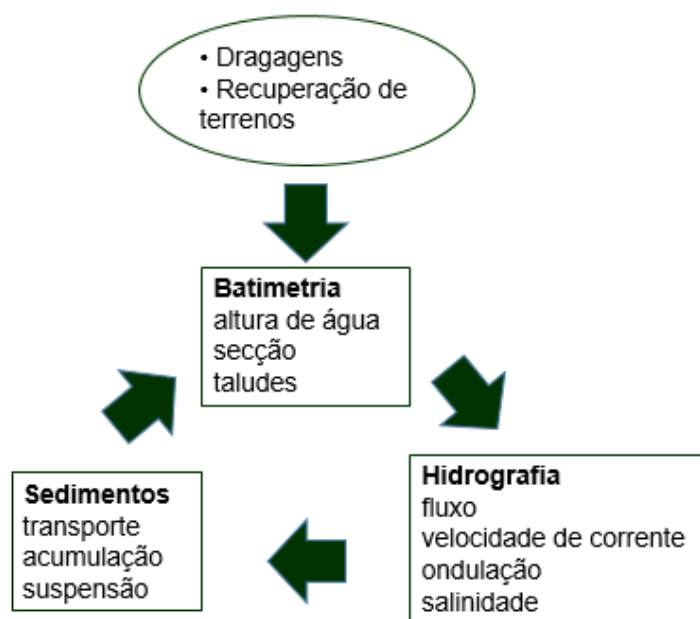


Figura 3. 1 - Cadeia de possíveis efeitos da alteração da batimetria (Adaptado de Bray 2008)

A alteração na batimetria pode afectar as dragagens: neutralizando-as, caso ocorra sedimentação, ou acentuando-as, caso ocorra erosão – algo que é menos frequente. O mesmo pode acontecer quando se tratam de casos de conquista de terrenos ao mar. Por exemplo, no caso específico da alimentação de praias, onde o objectivo é manter ou melhorar as condições de protecção da costa, a erosão vai acabar por ocorrer como efeito da alteração induzida. Todavia este caso, assim como o da manutenção de canais, é uma operação que normalmente é executada em intervalos regulares de tempo, com o intuito de combater os efeitos referidos anteriormente.

A energia da água liga a cadeia de efeitos físicos acima descritos. Esta vem do movimento da água que é dispersado ou absorvido devido ao atrito com o fundo marinho ou a costa. Quando se altera o caminho que a água costuma fazer, alteando ou afundando o seu caminho natural, altera-se também a sua energia.

A modificação da altura de água também permite mudanças no regime de ondulação. Por exemplo, um aumento da altura de água permite uma propagação mais rápida de ondas maiores, como as provenientes de um maremoto, significando que a onda conseguirá entrar mais em terra do que anteriormente devido ao atrito ter sido reduzido.

O regime de sedimentação também interfere consideravelmente nestas modificações. Nas áreas de dragagem onde por natureza o regime é elevado, revelam-se maiores efeitos do que em áreas onde este é limitado e onde há, por ventura, carência de sedimentação.

3.1.2 Efeitos no ecossistema

Os efeitos das dragagens nos ecossistemas podem ser divididos em directos e indirectos. Enquanto os primeiros são causados por actividades de construção, os outros podem ter fontes como libertação de

substâncias químicas dos dragados, mudanças no regime hidrográfico ou no uso da área intervencionada. Se ocorrerem mudanças na hidrografia numa área de elevada dimensão, os efeitos ecológicos que se fazem sentir podem ser permanentes na área costeira intervencionada.

3.1.2.1 Efeitos directos

Um dos principais efeitos directos nos ecossistemas é a remoção ou o soterramento de habitats. Quando ocorre, é normalmente remediada com um restabelecimento de habitats recorrendo a uma melhoria do fundo marinho ou à criação de novos habitats nos taludes da área intervencionada. Uma mudança considerável da altura de água na área dragada pode levar a que o ecossistema original seja repostado por um novo, adaptado às novas condições. Espécies muito frágeis e de crescimento lento, como os corais, apenas podem ocupar a nova área se as condições forem totalmente compatíveis com a sua existência e a das algas que normalmente os acompanham. Estas recuperações de habitats podem demorar alguns anos ou até décadas, mas fazem com que este efeito seja apenas considerado temporário e não permanente.

Outro dos efeitos directos mais comuns é a turvação. Esta consegue ser bastante prejudicial para a vegetação rasteira e fauna devido a deterioração das condições de luminosidade existentes no ecossistema ou ao enterro provocado pelos sedimentos. Isto apenas acontece quando a turvação gerada pela operação é superior à já existente e à taxa de sedimentação da área. Apesar de com o passar do tempo o ecossistema se conseguir adaptar às mudanças e alcançar novamente um equilíbrio, locais que não estão normalmente sujeitos a tão elevado volume de materiais podem sofrer efeitos consideráveis a curto prazo.

3.1.2.2 Efeitos indirectos

Considera-se que a forma como se lida e deposita os sedimentos contaminados deve ser foco de preocupação por parte da indústria das dragagens. Os efeitos provenientes de materiais contaminados afectam de forma rápida as imediações da área intervencionada. Estes efeitos tóxicos raramente são notados em áreas sujeitas a correntes e ondulação fortes, porque a concentração de substâncias contaminadas é pequena quando comparada com o volume de água em que estas se diluem. A diminuição do oxigénio disponível na água, embora raro, é um efeito que também pode provir das dragagens devido à libertação de substâncias consumidoras de oxigénio, no entanto à semelhança do anterior pode ser amenizado por circulação de água.

O risco dos efeitos causados serem de maior ou menor gravidade está, como se referiu anteriormente, ligado ao grau de circulação da água, havendo uma maior probabilidade de ocorrência em águas estagnadas. É essencial para a avaliação de potenciais impactos, conhecer como se comportam os compostos químicos que possuem efeitos tóxicos, quando estes são libertados em meios aquáticos ou quando são remexidos no fundo marinho durante a dragagem. Alguns compostos podem decompor-se rapidamente, restringindo o efeito em termos de tempo e espaço, enquanto outros podem ser mais persistentes.

A libertação de substâncias químicas, que podem ser absorvidas pela cadeia alimentar, constitui um dos maiores efeitos ecológicos das dragagens ou projectos de recuperação de terras em áreas

contaminadas. A percentagem destas substâncias deve ser cuidadosamente analisada de modo a avaliar se são nocivas para a saúde humana e dos organismos presentes. Os compostos metálicos, por exemplo, tendem a ser não degradáveis na natureza e a ser absorvidos pela cadeia alimentar, propagando-se assim o seu efeito – o que normalmente provoca, alguns anos depois da libertação destas substâncias, uma redução de fertilidade e de resistência a doenças nas espécies afectadas.

3.1.2.3 Efeitos permanentes

Projectos como aprofundamento de canais, melhoram muito frequentemente a circulação da água na área afectada. Em áreas costeiras isso pode significar um aumento na salinidade das águas, tornando mais marinha a área a montante de onde a dragagem foi efectuada, o que beneficia as espécies marinhas mas prejudica as espécies salobras, que são empurradas mais para montante que antes. Uma mudança nas fronteiras de salinidade pode provocar um impacte na entradas de água das imediações, havendo consequências a nível do tempo de vida operacional de furos para abastecimento de água e de águas subterrâneas, podendo estes sofrer intrusões salinas. Este tipo de projectos pode não afectar as condições das zonas situadas em mar aberto, tendo em conta o grande volume de água envolvido. O restabelecimento dos sistemas fluviais e dos sapais melhora naturalmente a diversidade do ecossistema envolvido (Bray 2008). Consideram-se que estes efeitos são mais dependentes das condições já existentes no local do que dos efeitos físicos a que os locais estão sujeitos.

3.2 ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Os aspectos geotécnicos dos projectos de dragagens estão relacionados principalmente com os estudos geotécnicos que são executados em cada projecto. Eles não devem em altura alguma ser subestimados, pois constituem uma etapa de dificuldade acrescida e custo elevado, sendo considerada a que maior efeito tem sobre os custos das obras de dragagens (Escalante 2015).

Considera-se importante o conhecimento das características dos materiais, de modo a seleccionar da melhor forma o equipamento de dragagem adequado, estimar o rendimento que se irá obter e começar previamente a pensar qual o melhor destino a dar aos dragados.

De seguida, são apresentados os principais métodos de prospecção geotécnica, assim como alguns aspectos a ter em conta. A ordem apresentada é relaciona-se com a de um estudo de um local para dragagem de primeiro estabelecimento, em que a informação conhecida é muito limitada. As características físicas dos materiais são também explicadas, como um aspecto determinante do âmbito desta dissertação.

3.2.1 Métodos de prospecção

O objecto de estudo dos principais métodos de prospecção geotécnica é o solo. As suas propriedades têm grande influência nas diferentes etapas das operações de dragagem. Como tal o objectivo destas investigações é determinar (*op. cit.* 2015):

- O volume e distribuição dos diferentes materiais presentes no fundo, assim como a sua estratigrafia e espessura de camadas, para posteriormente calcular os volumes de dragagem;
- O perfil dos materiais, isto é, qual a sua composição;

- As propriedades físicas e mecânicas que possam influenciar a escavação, transporte e deposição do material, mediante ensaios *in situ* e em laboratório;
- Possíveis reutilizações do material após dragado;
- Efeitos potenciais causados no meio ambiente;
- A inclinação a dar aos taludes nas áreas de dragagem.

3.2.1.1 Prospecção geofísica

Os métodos de prospecção geofísica caracterizam-se por medições de grande escala, permitindo obter a média das propriedades dos sedimentos presentes na sua zona de influência, mas sem a capacidade de obter ou testar alguma amostra de terreno directamente (US Army Corps of Engineers 2015). Considera-se é um método adequado para obter um perfil contínuo do subsolo. Os métodos mais utilizados em dragagens são as sísmicas de reflexão e refração.

A sísmica de reflexão é usada em águas pouco profundas e muito extensas. Este método permite obter um perfil contínuo até 30 m de profundidade, algo que pode variar, dependendo do tipo de equipamento utilizado e das características do solo, principalmente os seus horizontes de reflexão. São considerados de muita utilidade visto poderem realizar-se rapidamente e extrapolar, permitindo a interpretação de sondagens distantes entre si (Silva et al. 2015).

A frequência usada nestes equipamentos varia entre 0,5 e 15 kHz, permitindo as frequências mais baixas alcançar uma profundidade maior, enquanto as maiores proporcionam melhor resolução.

Contudo, é importante referir que este método possui algumas limitações, tais como:

- Alguns sedimentos atenuam o sinal de maneira considerável, limitando o seu alcance;
- Em águas de pouca profundidade o sinal reflecte entre a superfície livre e o fundo múltiplas vezes, omitindo informação;
- A existência de camadas de solo localizadas por baixo de outras mais resistentes não consegue ser determinada.

A sísmica de refração consiste na transmissão de ondas sísmicas através do sub-solo de modo a determinar a sua velocidade de propagação. Este método é mais difícil de executar, mais lento e de maior custo quando comparado com a sísmica de reflexão. Porém, a obtenção das velocidades de propagação do material fornece informação acerca das suas características gerais, não significando isto que este possa ser utilizado de forma independente como método de prospecção.

3.2.1.2 Modelo geológico-geotécnico preliminar

A construção de um modelo geológico-geotécnico do local facilita as prospecções geotécnicas. Este deve ser independente do método de escavação e reflectir com precisão as condições do subsolo marinho.

Este modelo é altamente dependente dos dados geofísicos marítimos. No entanto existem outras formas de obtenção de dados como a informação proveniente de sondagens ou derivada de processos de observação costeira.

Salienta-se que estes dados sejam analisados independentemente, visto a possível existência de várias discrepâncias entre as fontes de dados, o que pode comprometer o modelo.

Um exemplo de modelo são os sistemas de informação geográfica (SIG). Estes sistemas informáticos são capazes de editar, gerir, analisar e modelar dados georreferenciados, que se podem aplicar no tratamento e representação de dados geológicos (Brito 2011).

A implementação dos SIG de forma eficaz deve possibilitar:

- Facilidade de acesso a volumes consideráveis de informação;
- Selecção e pesquisa de informação;
- Integração de várias bases de dados;
- Actualização da informação já existente;
- Modelação espacial.
- Produção de resultados sob a forma de mapas, gráficos, tabelas, listas, entre outros.

Dias (2005) utilizou um SIG como método de caracterização de áreas de dragagem, através do desenvolvimento e implementação de um sistema de classificação de materiais sedimentares para efeitos de operações de dragagem e gestão de dragados. Este sistema considerou os dragados em termos da sua amostragem, caracterização, dos seus parâmetros físico-químicos, da sua contaminação e respectiva aptidão ambiental para deposição em meio aquático.

Canelas (2012) desenvolveu algumas ferramentas nesta área de forma a armazenar e organizar em base de dados todos os levantamentos hidrográficos existentes, para que depois se permita mais facilmente analisar as taxas de sedimentação e planear as dragagens a executar.

Este tipo de modelos é amplamente usado em diversos estudos de engenharia portuária. Santos-Ferreira *et al.* (2011b), (2015a) e (2015b) aplicou SIGs no planeamento de dragagens no porto de Portimão, na análise de contaminantes no portinho de Vila do Conde e na análise da hidrodinâmica local e assoreamentos no portinho de Vila Praia de Âncora, respectivamente. Também Dias *et al.* (2011), (2012) e Silva *et al.* (2010) desenvolveram estudos aplicando SIGs, nos casos citados incidiram no planeamento de dragagens no estuário do Ave, nas necessidades portuárias e ambientais do porto de Esposende e na análise multitemporal e morfodinâmica do estuário do Arade, respectivamente.

Na grande parte das vezes estas aplicações utilizam ferramentas já desenvolvidas pelos autores anteriormente citados, o que faz com que estes modelos sejam mais facilmente implementados e produzam resultados fiáveis.

Consideram-se as aplicações mencionadas de utilidade quando se visa caracterizar áreas de dragagem e gerir de forma adequada os dragados. É possível, utilizando a informação proveniente de campanhas de amostragem e de levantamentos topográficos, aplicar este método de forma a caracterizar os dragados quanto à sua quantidade (volumes) e qualidade (física e química). A determinação dos volumes de dragagem é um dado importante para estimar a quantidade que será necessária dragar e qual o melhor equipamento para o fazer, para além de fornecer também uma ordem

de grandeza da quantidade dos materiais que vão provir destas operações – algo importante aquando da escolha do melhor destino a dar-lhes. As características físico-químicas dos materiais vão ditar qual as suas vantagens e limitações do ponto de vista da sua deposição ou reutilização.

3.2.1.3 Sondagens e amostragem

Após a execução da prospecção geofísica e enquanto se planeia a prospecção geotécnica, deve definir-se quais os ensaios laboratoriais a submeter os sedimentos, de forma a escolher meticulosamente que o tipo de amostras e amostrador a usar.

A qualidade das amostras é condicionada pelo método de amostragem, pelo meio amostrado e pelas condições de transporte e armazenamento (Silva *et al.* 2015). Podem distinguir-se:

- Amostradores superficiais: As amostras superficiais são um elemento útil e fácil de obter. É importante anotar correctamente as coordenadas do local da colheita e posteriormente efectuar uma descrição visual e análises em laboratório.

Estas fornecem informação acerca do material constituinte da superfície e das primeiras camadas do fundo. A informação obtida é algo limitada mas de extrema importância para fases iniciais de projectos, pois é um método rápido e económico.

- Corer de gravidade: O *corer* de gravidade (Figura 3.2) é uma forma simples e rápida de obter amostras de sedimentos até à dezena de metros de profundidade. A amostra é colhida deixando-se cair o *corer* controladamente na vertical sobre os sedimentos, devendo ser garantido peso suficiente na extremidade oposta para garantir a penetração.

A sua principal vantagem é a facilidade operacional, enquanto a sua principal limitação é que apenas se aplica a sedimentos finos lodosos, tornando-se incapaz em sedimentos mais grosseiros ou competentes.



Foto de Laura Reis

Figura 3. 2 - Início da operação com o *corer* de gravidade (Siva *et al.* 2015)

- Corer de piston: Este *corer* é um amostrador duplo capaz de obter amostras não perturbadas. A sua forma de operação é por queda livre, com a penetração a ser reforçada pela acção de um *piston* que desliza no interior do tubo (Figura 3.3).

Possui a vantagem de fornecer amostras de elevada qualidade e valor científico. Contudo tem limitações como a necessidade de grandes meios de operacionalidade e à semelhança do corer de gravidade apenas opera em solos lodosos.



Figura 3. 3 - Corer de piston (Silva et al. 2015)

- Multicorer: O *multicorer* é capaz de colher amostras com cerca de 40cm de comprimento e com preservação da interface água-sedimento. A penetração é assegurada por um sistema hidrostático e quando é puxado o amostrador de volta os tubos são selados no topo e na base, preservando-se a integridade da amostra (Silva et al. 2015).

A sua principal vantagem é a de manter as condições de pressão intersticial nos sedimentos. No entanto requer elevada perícia do operador na fase de penetração e apenas pode ser usado em solos lodosos.

- Vibracorer: É um método de colheita de amostras muito rápida, eficiente e de baixo custo. Este é usado frequentemente em obras de dragagem quando se está na presença de solos brandos. Permite localizar, classificar e amostrar materiais granulares, indicando os trechos de material mais duro quando o amostrador é “rejeitado” pelo solo. No entanto as amostras obtidas por este método não permitem a determinação das suas características geotécnicas *in situ* (Escalante, 2015).

O amostrador permite extrair amostras com 75 ou 100 mm de diâmetro e até 6 m de comprimento. Este é preso por uma armação e colocado no fundo através de um guindaste. Com recurso a um vibrador crava-se o amostrador no fundo, que depois é recuperado para a colheita da amostra. É um processo rápido, tendo em conta que o todo o processo, que inclui a descida da armação até ao fundo, a amostragem e a recuperação do tubo amostrador, demora aproximadamente 30 minutos.

Uma das vantagens deste método é o de poder ser executado através de embarcações de suporte, não sendo necessário o uso de uma plataforma. Algo que faz com que seja um método de investigação relativamente barato quando comparado com sondagens.



Figura 3. 4 - Início da operação com o vibracorer (Silva *et al.* 2015)

- Boxcorer: Este corer (Figura 3.4) permite obter amostras não perturbadas e de volume considerável. Penetra o fundo através de uma caixa de aço circular e por intermédio de um sistema de disparo fecha a porta giratória da sua base (US Army Corps of Engineers 2015). Possui vantagens como colher amostras de grande volume e qualidade para ensaios em laboratório, sendo a sua principal limitação o preço por amostra.
- Sondagens: As sondagens geotécnicas são um método completo de obter amostras contínuas do perfil de solo do fundo marinho e visam afinar o modelo preliminar do subsolo, obtido com a prospeção geofísica. Permitem após executadas obter resultados de confiança em laboratório. O facto de estas terem que ser executadas a partir de uma plataforma apoiada no fundo, faz com que sejam um método de custo elevado dado a quantidade de recursos humanos e materiais que se têm que movimentar. Realça-se ainda que após a realização de uma sondagem, tem que se mobilizar todo o equipamento até ao novo local de amostragem, o que faz com que seja um processo moroso.

Apesar de constituírem uma amostragem de elevada qualidade, os factos acima descritos fazem com que estas apenas sejam executadas caso a informação fornecida pelos outros métodos não seja suficiente para definir um modelo geotécnico de confiança.

A escolha dos locais de execução é baseada na informação colhida pelos outros métodos de investigação, fazendo sentido analisar locais onde existam maiores dúvidas acerca das propriedades dos solos. A profundidade atingida deve ser suficiente para cobrir todos os aprofundamentos que se podem realizar no futuro. Trata-se de rentabilizar o custo de mobilização dos equipamentos, visto este ser consideravelmente maior que o custo da furação, e assim evitar nova campanha de sondagens no mesmo local.

O tipo de sondagens a realizar depende da competência do material que se espera vir a amostrar, podem ser de rotação caso se esteja perante solos consolidados ou rochas ou de percussão caso se esteja na presença de solos incoerentes.

No geral, o número de sondagens executadas para este tipo de projectos é reduzido, visto a maioria dos métodos ser de execução mais simples e custo mais barato, cobrindo grande parte das necessidades de amostragem. No entanto, perante a presença de rochas ou de argilas consolidadas, este é o único método que se possa utilizar para obtenção de amostras directas.

3.2.1.4 Ensaios *in situ*

Nos ensaios *in situ* o mais utilizado é o *Cone penetration test* (CPT), que fornece um registo contínuo do perfil de solo, medindo directamente a resistência que o terreno oferece à penetração de uma vara de ponteira cónica. A resistência pode ser medida na sua componente de fundo, de atrito lateral ou ambas.

O CPT eléctrico é o mais comum. Este avança no terreno com recurso a um dispositivo montado numa plataforma, a uma velocidade de 2 cm/s. Alguns destes dispositivos são projectados para operar a partir do fundo marinho.

A resistência à penetração pode ser medida através de células de carga eléctricas instaladas na ponteira ou através de células de pressão à superfície. No primeiro caso a resistência de ponta e o ângulo de atrito lateral são medidos e registados simultaneamente, enquanto no segundo estes são registados separadamente em duas componentes, em intervalos de 20 cm. Os penetrómetros eléctricos podem ainda ser equipados com dispositivos capazes de medir as pressões intersticiais induzidas no solo à medida que avançam – *CPT_u* – assim como medir a orientação da ponteira ou a temperatura do solo (Ministerio de Fomento y Puertos del Estado de Espanã 2005).

Este ensaio pode ser usado em quase todos os tipos de solos excepto em argilas duras ou solos que contenham uma quantidade considerável de blocos. Os seus resultados podem ser analisados para providenciar um perfil detalhado do solo ou determinar uma vasta gama de parâmetros de engenharia que podem ser usados em projectos de fundações ou de avaliação da degradabilidade do solo (Bray *et al.* 1997).

3.2.1.5 Ensaios físicos e mecânicos em laboratório

Os ensaios laboratoriais devem ser efectuados apenas em amostras representativas e não perturbadas, pois só assim se garante que os seus resultados sejam conclusivos e fiáveis. Estes devem seguir as normas ou recomendações nacionais adoptadas em estudos geotécnicos, nomeadamente as da ISO – *International Organization for Standardization*, da BS – *British Standard* ou da ASTM - *American Society for Testing and Materials* (Silva *et al.* 2015)

Na Tabela 3.1 discriminam-se os principais ensaios que habitualmente se executam para elaborar um modelo geológico-geotécnico.

Tabela 3. 1 - Principais ensaios para a elaboração de um modelo geológico-geotécnico, discriminados em função do tipo de material (Silva *et al.* 2015)

Argilas	Siltos, areias e cascalhos
<ul style="list-style-type: none"> • Descrição geral • Mineralogia • Teor em água • Granulometria • Carbono orgânico e inorgânico total • Peso volúmico aparente • Limites de Atterberg • Ensaios de consolidação • Ensaios triaxiais 	<ul style="list-style-type: none"> • Descrição geral • Teor em água (siltos) • Granulometria • Carbono orgânico e inorgânico total • Peso volúmico aparente • Ensaios de corte directo • Compressibilidade dos carbonatos (areia) • Ensaios triaxiais

3.2.1.6 Dragagem piloto

A dragagem piloto é um método de investigação muito completo. É utilizado quando a área de intervenção é complexa e difícil de estudar por outros métodos. A execução de uma dragagem piloto é dispendiosa e como tal só se justifica em projectos de grande envergadura (Ranz 2011).

É conveniente o uso de equipamentos de dragagem semelhantes aos que se pretendem usar no projecto definitivo de modo a obter resultados conclusivos. A sua planificação deve ser cuidadosa, seleccionando locais representativos da área a dragar. Após a sua realização deve ser elaborado um relatório sintetizando a informação obtida referente aos tipos de dragas usadas, às condições ambientais verificadas e aos rendimentos obtidos.

3.2.2 Orientações a seguir

Apresentam-se algumas orientações para as investigações geotécnicas de campo, segundo Escalante (2015) e Johnson (2005) citado por Escalante (2015), que se consideram constituir informação relevante e útil tendo em conta a temática abordada nesta secção.

3.2.2.1 Aspectos gerais

O objectivo destes aspectos é servir como linhas auxiliares de um projecto de prospecção geotécnica. As recomendações são as seguintes:

a) A execução das sondagens e vibracores deve ser feita na área e material que vão ser afectados pelos trabalhos de dragagem - Muitas vezes o elevado tráfego de navios, as correntes e as marés não permitem que se realizem sondagens dentro do canal, obrigando a uma execução fora deste; No caso de obras como portos, também é recorrente realizarem-se sondagens onde se vão implementar docas ou edifícios e onde não haverão dragagens.

b) A distribuição das sondagens e vibracores deve ser uniforme e cobrir toda a área que vai ser dragada – Recomenda-se uma distribuição capaz de representar significativamente toda a área de intervenção. A distância entre sondagens deve ser no máximo de 200 metros, dependendo da complexidade e variabilidade do fundo. No caso de se estar na presença de rochas essa distância é

reduzida para 100 metros. A aplicação de uma malha alternada é também recomendada, constituindo que fornece uma melhor cobertura do local.

c) Executar um número adequado de sondagens – O número de sondagens (incluindo vibracoring) pode ser dado pela fórmula de Verbeek (1984):

$$N = 3 + \frac{A^{0.5}}{25}$$

Onde: N – número de sondagens; A – área a dragar em metros.

Outra fórmula, adoptada pela *The World Association for Waterborne Transport Infrastructure - PIANC* (2014) é a de Bates (1981):

$$N = [3 + (A^{0.5} * D^{0.5})]/25$$

Onde: N – número de sondagens; A – área a dragar em metros; D – profundidade média da zona a dragar em metros.

Para projectos de preenchimento de terrenos considera-se uma boa regra a adopção de uma sondagem a cada três *vibracoring*. Quando se está na presença de solos coesivos devem apenas ser realizadas sondagens, visto os *vibracoring* não terem capacidade suficiente para a penetração (Escalante 2015).

d) Deve ser obtida informação acerca de camadas a profundidades superiores à profundidade de dragagem prevista – Em solos recomenda-se que sejam realizadas sondagens até pelo menos 5 pés (~1,5m). abaixo da profundidade de projecto, enquanto em rochas se estabelece como mínimo 8 pés (~2,4m). Para que seja obtida a profundidade pretendida para o projecto de dragagem tem de existir alguma sobredragagem, podendo esta ser considerável ou reduzida dependendo do tipo de material e da draga usada. As dragas de sucção com cabeça cortante por exemplo, necessitam de dragar mais profundo que o previsto tendo em conta a quantidade de material que não é captado pela sucção (derrames).

Outro aspecto importante é ter em conta que de futuro possa ser necessário um aprofundamento da obra em questão. Torna-se mais económico executar todas as sondagens de uma vez só, atingindo as profundidades necessárias, ao invés de realizar uma nova campanha no futuro.

e) Executar todas as investigações geotécnicas de acordo com as normas internacionais – Tanto os ensaios de campo como os de laboratório devem ser executados seguindo as normas internacionalmente reconhecidas para a área. De acordo com Escalante (2015), normas como as da ASTM (diversas), as da PIANC (1984) e as da *Construction Industry Research and Information Association - CIRIA* (2012) são consideradas de referência para as investigações geotécnicas.

f) Armazenar as amostras de forma adequada para a execução de ensaios posteriormente – A perda do teor em água natural das amostras *in situ* pode alterar as propriedades dos solos ou rochas. As amostras de solo devem ser guardadas em sacos estanques e os testemunhos de sondagem envolvidos em plástico para evitar as perdas de humidade.

3.2.2.2 Localização, área e quantidade

Quanto à localização e quantidade de amostras, bem como ao estudo da área amostrada recomenda-se:

a) Ter especial atenção ao controlo vertical – A precisão das distâncias verticais é de extrema importância para a determinação e representação dos horizontes de material mais competente, para a definição das interfaces entre camadas de solo e para o cálculo das áreas e volumes de dragados. As estimações de volumes são muito mais susceptíveis a erros na componente vertical do que na horizontal.

Um dos problemas que geralmente ocorre é quando não se considera correctamente a influência da maré, não existindo precisão na altura de maré aquando do registo da profundidade das sondagens. As novas tecnologias de posicionamento electrónico podem ajudar a reduzir este tipo de erros.

b) As sondagens e vibracoring podem ser complementados de forma eficiente através de sondas com jactos de água para determinar o horizonte dos materiais mais competentes – Em alguns tipos de solos, é simples utilizar jactos de água à pressão de forma económica e expedita. Este método pode ser utilizado com alguma confiança para determinar o horizonte de rocha ou material mais competente em toda a área de dragagem, completando assim a informação proveniente das sondagens.

c) A utilização dos métodos de prospecção geofísica deve ser cuidadosa e correlacionada com as sondagens – Os métodos de prospecção geofísica utilizam-se normalmente para obter informação acerca da localização e profundidade das interfaces de solos e rochas. Para que estes resultados se considerem fiáveis, devem ser correlacionados com a informação proveniente das sondagens.

3.2.3 Características físicas dos solos

Como resultado das investigações geotécnicas obtêm-se amostras de solos, que devem ser classificadas adequadamente. Do ponto de vista da sua dragabilidade, os materiais podem ser classificados da seguinte forma:

- Rochas;
- Solos
 - Granulares;
 - Plásticos;
 - Orgânicos.

Considera-se de difícil separação o horizonte entre rochas brandas (materiais com resistências entre 2 e 6 MPa) e solos duros, dada a semelhança que às vezes ocorre ao nível do seu comportamento geotécnico.

Na prática, não se encontram materiais pertencentes especificamente a cada categoria, como tal procura-se classifica-los usando uma combinação dos seus componentes maioritários, de forma a ser o mais preciso possível. Para essa classificação usam-se as observações visuais, os ensaios de campo e os ensaios de laboratório. Na maioria dos casos, é usada a norma de classificação de solos da ASTM.

De seguida são apresentados sucintamente os diferentes tipos de solos bem como tecidos leves comentários quanto à sua reutilização depois de dragados, sendo que informação mais aprofundada será descrita mais adiante no capítulo seguinte.

3.2.3.1 Solos granulares

Para distinguir os solos granulares, existem três factores relevantes a considerar: a granulometria, a forma das partículas e a respectiva textura. Em função destes parâmetros, aqueles solos podem dividir-se em blocos rolados, cascalhos, areias e siltes, sendo que os últimos apesar de serem solos finos inserem-se nesta categoria face ao seu comportamento quando dragados.

a) Blocos rolados

Os blocos rolados encontram-se normalmente em grandes quantidades e como materiais soltos. Consideram-se difíceis de dragar e um risco para as operações de dragagem devido a se encontrarem em quantidades inesperadas e com dimensões superiores às previstas.

Os métodos de sucção não são apropriados os tamanhos menores e não conseguem dragar directamente os tamanhos maiores, enquanto as dragas mecânicas possuem alguma dificuldade para dragar estes materiais, dependendo do seu tamanho e frequência. Mesmo as dragas com cabeça cortante estão limitadas a dragar partículas de dimensão inferior a 300 mm (Escalante 2015).

Como tal, quando encontrados em quantidades pequenas, uma alternativa é dragá-los para a costa de forma a serem enterrados. Outra possibilidade é o uso de equipamentos diferentes para executar as dragagens, como dragas retroescavadoras hidráulicas.

A granulometria dos blocos rolados é superior a 200 mm nos de grande dimensão e entre 60 e 200 mm nos de média dimensão.

b) Cascalhos

É frequente encontrar camadas de cascalhos bem cimentadas, de aspecto semelhante a conglomerados brandos, no entanto estes também podem aparecer como cascalhos arenosos muito compactos.

As suas dimensões de partículas situam-se entre 20 e 60 mm para os cascalhos grossos, 6 e 20 mm para os médios e 2 a 6 mm para os finos.

Quanto à sua dragabilidade, estes podem ser dragados facilmente com dragas de baldes, com dragas retroescavadoras hidráulicas ou com dragas de sucção com cabeça cortante, assim como também podem ser dragados com dragas de mandíbulas, se estas forem dentadas. As dragas de sucção e arraste têm alguma dificuldade em dragar cascalhos, enquanto as *Dustpan* são consideradas inaptas.

c) Areias

Os depósitos de areias apresentam uma dragabilidade muito variável de acordo com a sua compactidade. Podem apresentar-se como areias soltas, compactas ou cimentadas, e a sua estrutura pode ser

homogénea ou estar intercalada de camaras siltosas ou argilosas, apresentando nestes últimos dois casos depósitos muito compactos.

É importante determinar a forma das partículas e a respectiva textura, para avaliar a aptidão das diferentes dragas para remover as areias.

A sua granulometria varia entre 2 e 0.6 mm para as areias grosseiras, entre 0.6 e 0.2 para as areias médias e entre 0.2 e 0.06 mm para as areias finas.

d) Siltes

As partículas dos siltes na sua grande maioria não são visíveis a olho nu. Estes caracterizam-se por não apresentarem coesão, desagregando-se facilmente com pressão. A sua consistência pode variar entre siltes muito moles a rijos.

Em termos de granulometria, os siltes de maior dimensão estão entre 0.06 e 0.02 mm, enquanto os de média dimensão estão entre 0.02 e 0.006 mm e os de dimensão fina entre 0.006 e 0.002 mm.

e) Reutilização dos cascalhos e areias dragados

Os materiais granulares são considerados muito valiosos tendo em conta a sua utilização futura, sendo os que requerem menores esforços em termos de acondicionamento ou limpeza. Os cascalhos e areias são adequados para a maioria das reutilizações em obras de engenharia, como alimentação de praias, entre outros. Estes normalmente não se encontram contaminados.

f) Reutilização dos siltes dragados

Os siltes encontram-se normalmente intercalados com camadas argilosas e resultam da dragagem de manutenção de rios, canais, estuários ou interiores de portos. Estes materiais consideram-se muito adequados para a agricultura e recuperação de habitats de espécies selvagens.

Dependendo da legislação de cada país, os siltes ligeiramente contaminados podem ser utilizados no fabrico de ladrilhos e elementos cerâmicos dado que estes processos ligam os grãos de forma definitiva. Habitualmente os siltes e as argilas apresentam um grande teor em água natural, como tal devem ser secados antes da sua utilização em quaisquer processos industriais. O processo de secagem pode ser feito naturalmente, sendo moroso e necessitando de muito espaço, ou por meios mecânicos algo que reduz o tempo e espaço necessário mas aumenta o custo (Escalante 2015).

3.2.3.2 Solos plásticos

Os solos plásticos são os constituídos maioritariamente por argila. Em termos de resistência estes podem ir de muito moles a rijos. A sua granulometria predominante é inferior a 0.002 mm. As argilas apresentam coesão e plasticidade como características principais. No subsolo é frequente a presença de estratos argilosos intercalados de outros materiais.

a) Reutilização das argilas dragadas

Habitualmente obtêm-se argilas consolidadas nos trabalhos de dragagens de primeiro estabelecimento. A sua forma é geralmente uma mistura homogénea de água e argila. Quanto o seu teor em água é baixo, estas podem ser utilizadas no fabrico de ladrilhos ou elementos cerâmicos. Usualmente as argilas consolidadas dragadas não se encontram contaminadas por acção humana.

3.2.3.3 Solos orgânicos

Os solos orgânicos são geralmente de cor castanha ou negra, possuem um odor forte a matéria orgânica e são constituídos por materiais lenhosos ou fibrosos. Estes podem encontrar-se na presença de gases e do ponto de vista de aplicação não se consideram adequados para preenchimentos (*op. cit.* 2015).

3.3 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS

Os trabalhos de dragagem têm sempre um impacte ambiental (Bray *et al.* 1997), causando mudanças, temporárias ou permanentes, na topografia do mar, lago ou rio intervencionados. O mesmo acontece no local onde os dragados são posteriormente depositados.

Quando uma dragagem ocorre, são visíveis vários efeitos decorrentes dela. É normalmente criada uma perturbação na água perto da draga em funcionamento, algo que na maioria destes trabalhos é inevitável. Podem ser gerados outros distúrbios, como o barulho produzido e, no caso do material dragado estar contaminado, a poluição do meio aquático envolvente. Torna-se então necessário a avaliação do impacte potencial.

É certo que a realização de dragagens pode trazer diversos benefícios, mas é essencial balanceá-los com os impactos ambientais negativos mencionados anteriormente. A necessidade de entender e quantificar as consequências ambientais é considerada um pré-requisito para o uso de equipamentos de dragagem.

Para salvaguardar os interesses ambientais, existem entidades e legislações que regulam este tipo de actividades. As mais relevantes para o presente estudo são mencionadas de seguida.

Outro aspecto importante é a forma como são avaliados esses potenciais impactes. Análises aos dragados são um procedimento indispensável para estimar os possíveis contaminantes presentes nas áreas intervencionadas. Mais adiante neste capítulo (secções 3.3.3 e 3.3.4) descrevem-se as análises químicas e biológicas a que os sedimentos são submetidos.

3.3.1 Regulação a nível internacional

Segundo Bray & Cohen (2010), durante muito tempo os oceanos foram assumidos como tendo uma capacidade inesgotável de armazenar todos os tipos de resíduos sem que existisse qualquer preocupação acerca disso. No início da segunda metade do século XX, alguns cientistas começaram a alertar para essa problemática formando-se, nos anos seguintes, vários grupos ambientais que exigiram o fim da deposição descontrolada de resíduos em ambientes marinhos. Inicialmente, o foco foi para os resíduos de origem química e nuclear, mas rapidamente se começou a incluir também os volumes de materiais dragados, especificamente os que provinham de áreas com indústrias pesadas, interditando a sua deposição nos oceanos.

Sintetiza-se, seguidamente, uma breve evolução da regulação da deposição de materiais dragados a nível mundial e nacional, por ordem cronológica.

a) A CONVENÇÃO DE LONDRES

A Convenção de Londres de 1972 – CL72 (*op. cit.* 2010), também conhecida como a Convenção da Prevenção da Poluição Marinha foi criada, assim como as convenções posteriores, com o objectivo principal de controlar a deposição de resíduos químicos ou industriais em ambiente marinho. A CL72 inclui diversos artigos que foram ulteriormente integrados na Convenção de Oslo, em 1974, aplicando-se a todas as águas internacionais, e contém um conjunto de anexos que listam um número significativo de químicos e compostos químicos que são considerados perigosos ou potencialmente perigosos, que justificam a respectiva regulamentação.

De acordo com esta Convenção, o controlo dos materiais dragados e a sua deposição no oceano dependem essencialmente de:

- O contaminante ser vestigial;
- As quantidades serem, ou não, significativas;
- A capacidade do material se tornar inofensivo rapidamente perante o contacto com a água do mar (reação química que ocorre quando alguns contaminantes metálicos entram em contacto com pH e salinidade elevados, formando compostos metálicos insolúveis);
- A toxicidade e a persistência;
- A bio-acumulação.

Com o intuito de classificar o material dragado, a CL72 recomenda: uma amostragem representativa, a análise das características gerais do dragado, a análise química dos principais contaminantes e, se necessário, um teste biológico para avaliar os efeitos nos organismos presentes no local de deposição.

A CL72 foi revista em 1996, estabelecendo-se um protocolo entre os países participantes. As principais inovações provenientes desse protocolo estão associadas à política de “poluidor-pagador” e o princípio da precaução. A primeira refere-se às sanções aplicáveis aos países poluidores, a segunda promove a precaução do depósito de resíduos em ambiente marinho, mesmo que estes não aparentem estar contaminados.

A Convenção de Londres emitiu um Quadro de Avaliação de Material Dragado (DMAF – *Dredged Material Assessment Framework*) com as considerações básicas para determinar em que condições os dragados devem ou não ser depositados no mar – Figura 3.5. Segundo Mink (2012), esta figura é considerada uma base para tomar decisões e gerir os dragados de modo mais adequado, sendo recomendado pela PIANC, e pela *Central Dredging Association* – CEDA, e é implementado por diversas convenções regionais.

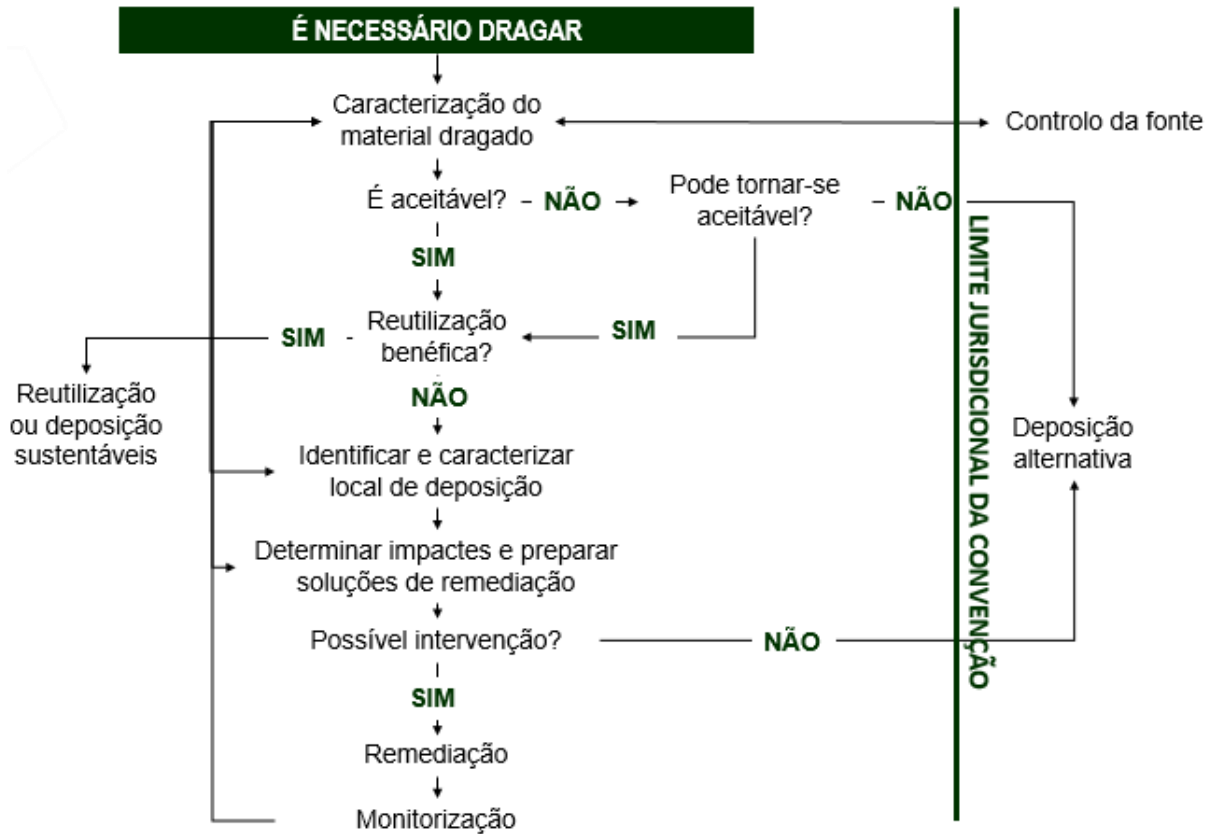


Figura 3. 5 - Quadro de avaliação dos materiais dragados (adaptado de Bray & Cohen 2010)

b) A CONVENÇÃO DE OSPAR

Segundo Bray & Cohen (2010) outros países europeus começaram a impor limites na deposição de contaminantes em águas marinhas, realizando-se duas convenções: a de Oslo, em 1974, e a de Paris, em 1978, que abarcaram as águas internacionais de cada país subscritor. Estas duas convenções deram origem à Convenção de OSPAR, que rege as deposições de dragados do Atlântico Nordeste.

Nela está convencionado que a deposição de materiais dragados tem de ser controlada, podendo apenas ocorrer se os materiais contivessem quantidades vestigiais de contaminantes. Os materiais principalmente constituídos por areia, cascalho ou blocos de rochas, provenientes de locais com correntes fortes, não eram susceptíveis de possuir concentrações significativas de elementos da fracção fina contaminados, podendo ser reutilizados na alimentação de praias ou na protecção costeira, sem que fossem submetidos a quaisquer ensaios. Salienta-se que os materiais finos, como os siltes e as argilas, têm uma tendência para ligar-se ou adsorver contaminantes tornando-se o contaminante em si, característica não partilhada pelos outros materiais mais grosseiros.

Segundo Mink (2012), esta convenção, apesar de servir de modelo a outras convenções regionais, suscita algumas problemáticas não existindo, por exemplo, uma abordagem uniforme por parte das comunidades participativas, e ocorrendo uma gama vasta de valores de referência e competição entre várias autoridades nacionais.



Figura 3. 6 - Mapa dos países que aderiram à convenção de OSPAR (Flanders Marine Institute - <http://www.vliz.be>)

Existem ainda outras convenções regionais, que se considera extravasar o âmbito desta dissertação, como por exemplo:

- Barcelona (1978), que se aplica ao Mar Mediterrâneo;
- HELCOM (1992), que se aplica ao Mar Báltico;
- Bucareste (1992), que se aplica ao Mar Negro.

3.3.2 Regulação a nível nacional

Em Portugal, as entidades que regem as dragagens são a Agência Portuguesa do Ambiente – APA, e a Direcção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos – DGRM. Ambas têm que respeitar a legislação em vigor que se apresenta em seguida.

A legislação que rege as dragagens e os materiais dragados em Portugal inclui a Portaria n.º 1450/2007 de 12 de Novembro, pertencente ao Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. No nº 8 desta Portaria, pode ler-se: “*A determinação das características e composição dos materiais dragados, para efeitos de dragagem e eliminação, integrando a imersão referida no artigo 60.º do Decreto -Lei n.º 226 -A/2007, de 31 de Maio, é realizada de acordo com o anexo III à presente portaria, que dela faz parte integrante.*”

O anexo III acima mencionado apresenta informação relevante acerca do número de estações a implementar por volume dragado (Tabela 3.2), da frequência de amostragem e das análises a que as amostras devem ser submetidas, contendo ainda uma classificação de materiais de acordo com o seu grau de contaminação (Tabela 3.3). A frequência de análise dependerá da análise inicial: se esta indicar uma contaminação importante, deve realizar-se amostragem anualmente, se a análise inicial mostrar que o material está limpo, a amostragem pode ser efectuada a cada 3 anos.

Tabela 3. 2 - Quantidade de estações de monitorização a implementar por volume dragado (Anexo III da Portaria n.º 1450/2007 de 12 de Novembro)

Volume dragado (m ³)	Nº de estações
Até 25.000	3
De 25.000 a 100.000	4-6
De 100.000 a 500.000	7-15
De 500.000 a 2.000.000	16-30
Mais de 2.000.000	Mais de 10 por cada 10 ⁶ m ³

As amostras devem então ser representativas do material a dragar, isto é, desde a superfície até à profundidade máxima a dragar, com excepção dos materiais com granulometria superior a 2 mm, que devem ser excluídos. Visando analisar o nível de contaminação dos dragados, os ensaios a submeter o material recolhido devem fornecer: a densidade, a percentagem de sólidos, a granulometria, o carbono orgânico total – COT (fracção < 2mm) e, no caso de ser necessária uma análise química, é obrigatório avaliar as substâncias que possam estar presentes devido a potenciais fontes de poluição, pontuais ou difusas. Os materiais dragados em Portugal são classificados, de acordo com a Tabela 2, em 5 classes de contaminação.

Tabela 3. 3 - Classificação de materiais de acordo com o grau de contaminação em metais e compostos orgânicos (Anexo III da Portaria n.º1450/2007 de 12 de Novembro)

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
<u>Metais (mg/kg):</u>					
Arsénio	< 20	20 - 50	50 - 100	100 - 500	> 500
Cádmio	< 1	1 - 3	3 - 5	5 - 10	> 10
Crómio	< 50	50 - 100	100 - 400	400 - 1 000	> 1 000
Cobre	< 35	35 - 150	150 - 300	300 - 500	> 500
Mercúrio	< 0,5	0,5 - 1,5	1,5 - 3,0	3,0 - 10	> 10
Chumbo	< 50	50 - 150	150 - 500	500 - 1 000	> 1 000
Níquel	< 30	30 - 75	75 - 125	125 - 250	> 250
Zinco	< 100	100 - 600	600 - 1 500	1 500 - 5 000	> 5 000
<u>Compostos orgânicos (ug/kg):</u>					
PCB (total)	< 5	5 - 25	25 - 100	100 - 300	> 300
PAH (total)	< 300	300 - 2000	2000 - 6000	6000 - 20.000	> 20.000
HCB	< 0,5	0,5 - 2,5	2,5 - 10	10 - 50	> 50

PCB - Bifenilos policlorados, PAH - Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos, HCB - Hexaclorobenzeno

A cada classe corresponde uma forma de deposição específica a adoptar, a saber:

Classe 1: Material limpo, que pode ser depositado no meio aquático, utilizado em locais sujeitos a erosão ou na alimentação de praias sem quaisquer restrições;

Classe 2: Material com contaminação vestigial, podendo ser imerso no meio aquático tendo em conta as características e uso legítimo do meio receptor;

Classe 3: Material ligeiramente contaminado, que pode ser usado em terraplenos e imerso em meio aquático, sendo neste último necessário um estudo aprofundado do local e posterior monitorização;

Classe 4: Material contaminado, devendo ser colocado em terra, num local impermeabilizado, sendo recomendada uma posterior cobertura com solos impermeáveis;

Classe 5: Material muito contaminado, que idealmente não deve ser dragado, mas no caso imperativo deve ser submetido a tratamento prévio e depositado num aterro de resíduos devidamente autorizado, sendo proibida a sua imersão. O tratamento deste tipo de materiais é um investimento elevado, pelo que é normalmente executado visando a sua reutilização.

3.3.3 Análises químicas

Os potenciais impactos ambientais associados a materiais contaminados por químicos é uma das principais preocupações nas dragagens. As investigações preliminares devem incluir análises químicas dos materiais da área a dragar, da área de deposição e das áreas vizinhas destas. Estas análises são realizadas em laboratório e detectam quais os químicos presentes nos sedimentos e as suas concentrações.

As análises que contemplem apenas sedimentos são designadas por análises em massa, enquanto as análises feitas a sedimentos em suspensão são designadas por análises de purificação (*elutriate*). A utilidade das últimas é avaliar os potenciais contaminantes dissolvidos na coluna de água adjacente à área dragada.

As análises de purificação são preparadas com a mistura de sedimentos e água (normalmente em proporção de 1:3 ou 1:4) por um período curto de tempo, entre 30 a 90 minutos. Depois a mistura é deixada a repousar durante aproximadamente 60 minutos. A parte ainda em suspensão é então removida por decantação para proceder à purificação. A purificação representa a parte de material dragado que vai permanecer suspensa durante as operações de dragagem ou deposição. Se se proceder a uma análise química a estes sedimentos determina-se quais os contaminantes associados a sedimentos suspensos (Bray 2008).

O limite de detecção (LD) é um conceito importante de caracterização química das amostras. Este consiste na concentração mínima de um contaminante específico que pode ser detectada com precisão. O LD varia em função de:

- Colheita amostra e seu transporte;
- Sensibilidade do equipamento;
- Método de análise escolhido;
- Interferências na amostra e sua quantidade (massa).

Este conceito é normalmente definido por um processo iterativo e deve ser especificado previamente nos documentos de planeamento de um projecto. Consoante o aumento dos custos do projecto e a dificuldade de logística, este pode ser baixado, no entanto não é recomendável (*op. cit.* 2008).

Os componentes químicos que são analisados incluem hidrocarbonetos, compostos clorados e inorgânicos, pesticidas, entre outros.

3.3.3.1 Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos são compostos quase exclusivamente por hidrogénio e carbono. No entanto, estes aparecem na natureza sob a forma misturas complexas constituídas por duas estruturas moleculares:

- Hidrocarbonetos alifáticos: moléculas que constituem a maioria da estrutura das misturas de hidrocarbonetos. Geralmente são de baixo risco ambiental porque apresentam níveis baixos de toxicidade e degradam-se rapidamente.
- Hidrocarbonetos aromáticos: moléculas constituídas por múltiplos anéis, de onde provém o termo PAHs (representado na tabela 3.2). Os PAHs são mais resistentes à degradação e são considerados muito tóxicos para a saúde humana e dos receptores ecológicos. Estes são analisados em função do seu número de anéis:
 - Naftaleno – 2 anéis;
 - Antraceno – 3 anéis;
 - Criseno – 4 anéis;
 - Benzo(a)pireno – 5 anéis.

Os hidrocarbonetos presentes nos dragados podem ser categorizados em três tipos, consoante a sua fonte de contaminação:

- De origem petrolífera – de infiltrações naturais, derrames de combustível ou escoamento de águas superficiais;
- De origem pirogénica – da combustão de carvão, madeira e petróleo;
- De origem biogénica – de plantas e animais

Os hidrocarbonetos petrolíferos variam do crude a produtos petróleo altamente refinado como gasóleo ou combustível de avião. A sua proporção em PAHs normalmente aumenta com o grau de refinação. Os pirogénicos são compostos maioritariamente por PAHs, sendo por isso considerados muito poluentes. Os biogénicos, dada a sua origem são habitualmente compostos por moléculas alifáticas e por isso de baixa toxicidade.

3.3.3.2 Compostos clorados

Os compostos clorados são originados essencialmente por químicos de origem antrópica, sendo sintetizados a partir de processos industriais e aplicações comerciais, aparecendo essencialmente em grandes centros urbanos. Alguns exemplos destes são os PCBs - Bifenilos policlorados e o HCB - Hexaclorobenxeno. Estes compostos são geralmente persistentes e muito tóxicos para os organismos.

3.3.3.3 Pesticidas

Os pesticidas são um grupo diverso de compostos para o combate químico de insectos, plantas, roedores, fungos, entre outras espécies. A sua composição, persistência ambiental e toxicidade para organismos que não são o seu alvo é muito variável. Como tal a sua caracterização em projectos de dragagem apenas ocorre em casos específicos de suspeita da presença destes compostos.

3.3.3.4 Compostos organo-metálicos

Estes compostos possuem características ambientais muito próprias. Entre os ambientalmente mais significativos para projectos de dragagem estão os TBT – *Tri-butyl tins*, que são compostos muito persistentes no ambiente e cuja sua exposição a organismos, mesmo que em baixa concentração, é muito tóxica, principalmente em moluscos.

3.3.3.5 Compostos inorgânicos

Nestes compostos estão incluídos metais como o arsénio, cádmio, crómio, cobre, mercúrio, chumbo, níquel e zinco; nutrientes como os fosfatos e nitratos; e compostos como os cianetos. Muitos destes metais são constituintes naturais de minerais de argila. Consequentemente os materiais dragados podem possuir elevadas concentrações de metais. Estas concentrações naturalmente presentes devem ser identificadas e distinguidas correctamente de concentrações de metais provenientes de acções antrópicas. A existência de sedimentos de referência é fundamental para esse distinção.

3.3.3.6 Diversos

Para além dos compostos descritos anteriormente, a caracterização química para projectos de dragagens pode ainda incluir: o carbono orgânico total – COT, os sulfuretos ácidos voláteis – SAV, sulfuretos de hidrogénio e amónio. Os resultados dos níveis de COT e SAV são usados para avaliar a biodisponibilidade de compostos inorgânicos e hidrofóbicos, enquanto os restantes são altamente tóxicos para os organismos biológicos e devem ser considerados nas suas análises.

3.3.4 Análises biológicas

As análises em laboratório para caracterização biológica dos materiais dragados consistem na avaliação da toxicidade e da bioacumulação. Estas análises providenciam potenciais impactos que não são avaliados pelos ensaios geotécnicos ou químicos descritos anteriormente. O sucesso destes ensaios depende da experiência de quem os executa e das condições laboratoriais existentes. Por exemplo a selecção e manutenção das espécies de teste adequadas é um dos maiores factores para que estas análises sejam conclusivas.

A avaliação da toxicidade e bioacumulação usa organismos vivos para avaliar os materiais dragados. A selecção das espécies-teste é um procedimento de elevada importância, tendo sido desenvolvidos métodos de teste para organismos de água salgada e de água doce. A sua selecção vai depender de factores como o meio receptor, a exposição ambiental esperada, os requisitos de regulação e as capacidades do laboratório (PIANC 2006).

3.3.4.1 Toxicidade

A toxicidade é a capacidade que um contaminante tem de causar efeitos adversos a um determinado organismo que tenha sido exposto. Nenhum dispositivo é capaz de medir a toxicidade. Todas as análises químicas descritas anteriormente medem as concentrações dos contaminantes, mas não o seu efeito biológico ou toxicidade. O principal objectivo desta avaliação é providenciar, de uma forma directa, a determinação dos efeitos de todos os constituintes dos sedimentos nas apropriadas e sensíveis espécies-teste. Realça-se que alguns contaminantes poderão não ser tóxicos por si só e sê-lo quando estão em combinação com outros elementos. Estes ensaios conhecem-se pelo nome de ensaios ecotóxicos (Alcobia 2008). Estes podem avaliar os potenciais efeitos no material dragado depositado e suspenso na coluna de água.

a) Avaliação nos sedimentos depositados:

Esta avaliação pode ser importante para a deposição de dragados se a maioria dos contaminantes estiver nos sedimentos depositados e os organismos que vivam no fundo possam ser afectados pela sua deposição.

A avaliação da toxicidade nestes sedimentos é consumada através da homogeneização ou mistura de um volume grande de sedimentos dragados e consequente deposição em contentores-teste, usados para replicar o ambiente em que estes são depositados. Os organismos são então introduzidos nos contentores e ficam expostos normalmente durante 10 dias. Após esse tempo, a avaliação dá-se por terminada e são esvaziados os contentores e contados os organismos sobreviventes, avaliando-se os resultados pela sua percentagem de sobrevivência.

Os testes podem ser considerados inválidos caso existam problemas com as condições, com a execução ou com os organismos do teste – algo evidenciado normalmente por uma excessiva mortalidade de controlo (superior a 10%). Caso os testes sejam considerados válidos, os resultados são comparados estatisticamente para determinar o grau de toxicidade dos dragados.

b) Avaliação nos sedimentos suspensos

A avaliação nos sedimentos suspensos é realizada para analisar efeitos a curto prazo, isto é, a toxicidade na coluna de água após a deposição dos sedimentos em ambiente aquático.

É usado um processo decantação semelhante ao descrito na secção anterior, para avaliar os efeitos combinados dos constituintes dissolvidos e dos respectivos sedimentos suspensos. São preparadas séries de diluição de 100, 50 e 10 por cento (usualmente). Após isso são introduzidas as espécies nos contentores-teste e no controlo de tratamento*, onde ficam entre 24 a 96 horas para concluir a avaliação (PIANC 2006).

*Controlo de tratamento – contentor que replica as condições ambiente do já existente local de deposição, para servir de comparação para os contentores-teste.

Geralmente os resultados são apresentados em concentrações letais – CL50 por exemplo, que reflecte a concentração que é letal a 50 por cento dos organismos presentes durante o teste.

- Se a CL50 do material for igual ou relativamente superior (menos tóxica) que a do controlo de tratamento, então não são esperados efeitos relevantes.
- Se a CL50 for consideravelmente menor (mais tóxica), deve ponderar-se a mistura de sedimentos na coluna de água aquando da deposição, para diluir a concentração.

3.3.4.2 Bioacumulação

A avaliação da bioacumulação determina o potencial dos contaminantes químicos presentes nos sedimentos passarem para os seres vivos do ambiente aquático.

Este teste é realizado de forma semelhante à avaliação da toxicidade nos sedimentos depositados. Os seres vivos são expostos aos sedimentos em laboratório durante um tempo que pode variar entre 10 e 28 dias. Os organismos sobreviventes são colhidos no final e analisados quanto aos seus constituintes químicos. Se os químicos presentes nos sedimentos aparecerem nos organismos em concentrações superiores às de referência, significa que o ambiente aquático em estudo é susceptível a bioacumulação.

Em alguns casos a avaliação da bioacumulação pode ser não ser necessária, utilizando-se modelos de bioavaliação. Estes modelos conseguem estimar a bioacumulação máxima baseando-se na informação gerada durante a caracterização química. Se estes modelos já indicarem alguma susceptibilidade do meio aquático, então não é necessária fazer a avaliação anteriormente descrita (*op. cit.* 2006).

4. GESTÃO DE DRAGADOS

Existe uma grande variedade de alternativas a dar aos dragados. As suas duas principais categorias são a reutilização e a deposição. No entanto o seu tratamento também pode ser uma opção, combinada com uma das anteriores categorias, tornando os sedimentos aptos, qualitativa e quantitativamente, para uma reutilização ou deposição específica.

Os materiais são parte integrante dos ambientes aquáticos. Por isso, se existir necessidade de os remover de um determinado local, a decisão mais acertada é devolve-los ao mesmo curso de água noutra local. O que faz com que a deposição de materiais em meio aquático não confinado ou a sua reutilização sejam sempre as primeiras duas alternativas a equacionar. Se o material não se considerar apto a nenhuma das alternativas mencionada, pode ser considerado o seu tratamento, alterando as suas características de modo a torna-lo apto. Algo que deve ser uma decisão ponderada devido aos custos elevados associados ao tratamento.

Todavia, quaisquer das alternativas tomadas vai ter um efeito no meio ambiente receptor. Este pode ser positivo ou negativo, a curto ou a longo prazo. Existem preocupações que devem ser tidas de modo a escolher a melhor alternativa a dar aos dragados.

Bray (2008), baseado em diversas fontes como CL72 (1996), OSPAR (1998), entre outras, estabeleceu uma sucessão de etapas de modo a escolher a alternativa mais apropriada a dar aos dragados. Estas etapas estão descritas, respeitando o Quadro de Avaliação de Material Dragado estabelecido pela Convenção de Londres e anteriormente referido na Figura 3.5 – secção 3.3.

O esquema de sucessão de etapas para seleccionar a alternativa mais apropriada a dar aos dragados é então constituído por:

1. Verificar se existe necessidade de dragar: Deve ser avaliado se existe de facto necessidade de se dragar ou se existe alguma alternativa mais viável como por exemplo a recuperação de fundos marinhos contaminados ou o isolamento de contaminantes *in situ* por cobertura destes.

2. Caracterização dos dragados: Os materiais devem ser caracterizados, física, química e biologicamente de modo a obter toda a informação relevante e que possa condicionar a sua reutilização ou deposição.

3. Avaliação das opções de reutilização: A legislação de muitos países permite a reutilização dos dragados em várias alternativas, que devem ser consideradas antes de equacionar deposita-los no mar. Esta avaliação inclui actividades como:

- Avaliar se a qualidade dos dragados cumpre os mínimos para que possam ser colocados em ambientes marinhos ou cursos de água;
- Avaliar a aptidão dos materiais em termos físicos, químicos e para fins de engenharia, podendo neste ultimo caso justificar o seu tratamento;
- Avaliar a viabilidade da operação, sabendo se o material corresponde à necessidade em termos de quantidade e distâncias de transporte;
- Avaliar os potenciais impactos no meio de recepção.

4. Esboço dos potenciais locais de deposição: Devem ser considerados os diferentes cenários possíveis e analisados de forma a reduzir o seu número aquando de uma avaliação mais detalhada. Algo que inclui avaliar as condições hidrogeológicas e ambientais, a distância ao local da dragagem, a capacidade de transporte e os custos associados.

5. Avaliação detalhada das alternativas de deposição: As hipóteses mais viáveis são analisadas. Podem ser necessárias medidas de gestão de potenciais impactes, sendo necessário um estudo de impacte ambiental – EIA. Esta etapa envolve actividades como:

- Caracterização detalhada dos potenciais locais de deposição;
- Selecção do método de dragagem e transporte compatível para cada hipótese;
- Avaliação dos potenciais impactes físicos e da capacidade do meio receptor;
- Avaliação dos potenciais impactes derivados de contaminantes químicos.

6. Selecção e implementação do projecto final: Nesta etapa existe um número reduzido de opções ambientalmente aceitáveis. A escolha da alternativa mais apropriada deve ser feita balanceando os diferentes aspectos envolvidos. Estes são geralmente:

- Aspectos ambientais adicionais como o ruído, a poluição, os potenciais danos em recursos estéticos e culturais ou a saúde da tripulação;
- Implementação e avaliação;
- Operações de campo e gestão da sua viabilidade;
- Custos;
- Segurança;
- Aceitação pela população.

7. Autorizações legais: Todas as autorizações para a implementação devem ser obtidas até esta etapa. Os requisitos mínimos dessas autorizações podem ser tornados públicos como forma de informação a população.

8. Programa de monitorização: A monitorização da operação de deposição e dos impactos a longo prazo no local deve ser parte integrante do processo de tomada de decisão. Esta deve ser consumada antes, durante e depois das operações de deposição. Previamente à deposição permite providenciar informação para a seleção do melhor local e estabelecer as condições básicas à operação. Durante e após a deposição tem o intuito de: avaliar a integridade do local de deposição em termos físicos e de engenharia; avaliar o aparato ambiental e adequar os impactes hipotéticos; e em alguns projectos estabelecer um ritmo de produtividade capaz de obter sucesso.

4.1 REUTILIZAÇÃO DOS DRAGADOS

Apesar de alguns países já reutilizar os dragados de maneira recorrente – por exemplo o Japão reutiliza cerca de 60% do material dragado – esta não é uma prática comum. Em muitos países existem alguns constrangimentos, como: legislação complexa e inconsistente, dificultando o enquadramento dos materiais em possíveis reutilizações; a inexistência de mercados para materiais tratados; e uma percepção negativa por parte da população geral, o que impede uma reutilização mais extensiva dos dragados. O facto de os custos serem, por vezes, mais elevados do que os da tradicional deposição pode também influenciar negativamente a sua utilização (PIANC 2008).

A chave da reutilização dos dragados passa por conjugar o material disponível com a utilização apropriada, tendo em conta:

- A aptidão físico-química dos materiais;
- A viabilidade da operação;
- A aceitação ambiental;
- Os custos e benefícios associados.

Em alguns casos, pode ser considerada uma melhor solução a reciclagem de sedimentos, recolocando os sedimentos dragados no mesmo curso natural de água para que estes sejam transportados e futuramente evitem problemas como a excessiva erosão da área intervencionada. O equilíbrio de locais como por exemplo os estuários, está dependente do rácio entre material depositado e erodido, constituindo um processo dinâmico de auto-regulação. Uma dragagem pode interferir nesse equilíbrio, como tal esta é uma situação que deve ser sempre devidamente analisada.

Salienta-se que apenas as reutilizações que integram o âmbito do presente estudo são mais aprofundadamente abordadas. Áreas como a agricultura e os habitats são apenas sucintamente referidas.

4.1.1 Protecção costeira

Existem muitas formas do material dragado ser usado na protecção da costa, que incluem:

- Alimentação de praias;
- Ajuste do perfil de zonas pantanais;
- Formação de bermas *off-shore* para modificação das condições de ondulação;
- Colocação em bancos de cursos de água;
- Construção de diques, barragens ou dunas.

4.1.1.1 Alimentação de praias

A alimentação de praias está associada a defesas costeiras fracas e à criação ou manutenção de estruturas nas costas. Existem muitas estruturas em rocha e betão, criadas de forma a resistir directamente à oposição do mar, devido à rápida erosão que pode ocorrer através de uma ondulação forte. No entanto, com o passar do tempo, a preocupação ambiental por parte da sociedade foi

crescendo e essas estruturas, sendo esteticamente menos favorecidas, começaram a ser menos usadas, favorecendo soluções naturais como por exemplo a forma das praias (Bray *et al.* 1997).

As praias compreendem uma grande quantidade de partículas de pequena dimensão, normalmente areias e cascalhos, que são produtos da erosão localmente verificada. A energia das ondas dissipa progressivamente ao longo da praia, estando os seus materiais quase em movimento constante. Em consequência disso a forma da praia vai-se adaptando às condições de ondulação, podendo estar ou não em equilíbrio. Em caso afirmativo não se registam perdas de materiais significativas, ocorre apenas uma redistribuição do material. Em caso negativo verificam-se perdas de material significativas porque o ritmo de perda será superior ao de reposição, ocorrendo erosão progressiva da praia. A alimentação de praias pretende combater esse efeito, depositando os dragados nas praias.

A alimentação de praias depende essencialmente de dois aspectos: a disponibilidade do material e as condições marítimas em que é executada.

a) Disponibilidade do material

O volume necessário para alimentar uma praia pode ser considerável. Normalmente procura-se material de características físicas semelhantes ao já existente na praia, mas no entanto pode ser necessário um material de granulometria mais grosseira de modo a resistir de forma mais eficiente à erosão que afecta a área intervencionada.

Entre as diversas potenciais fontes de material, pode ser uma boa fonte a zona perto da costa (*nearshore*) porque está ligada directamente à necessidade da alimentação das praias e faz parte do mesmo sistema costeiro. Normalmente o uso desta fonte é regido por legislação, mais do que por considerações de engenharia.

No entanto, considera-se ideal o uso de dragados de outros projectos de dragagem, mais do que dragar com o propósito específico de alimentar as praias. Porque assim está-se a reutilizar um material que foi dragado para atingir outro fim, o que torna a actividade muito mais sustentável.

b) Condições de execução

A alimentação de praias requer operações perto da zona costeira, como tal as condições marítimas vão interferir significativamente no custo e na operacionalidade da obra. Habitualmente, as operações são facilitadas na presença de condições climáticas calmas. Como tal é praticamente impossível economicamente e em termos de operacionalidade executar este tipo de obras durante o Inverno marítimo ou em períodos de ondulação forte.

4.1.1.2 Bermas *off-shore*

A criação de bermas *off-shore* pode ser considerada em três tipos: *feeder berms*, *hard berms* e *soft berms*. As primeiras são consideradas um “sacrifício”, visto terem como objectivo fornecer sedimentos para estes se moverem para a costa. As últimas duas são bermas que podem ser usadas para reduzir a força e fazer variar a direcção de rebentação das ondas, reduzindo assim a erosão da costa.

4.1.1.3 Deposição em bancos de cursos de água

A deposição de material em bancos de rios, em valas ou em terrenos alagados (*polders*) é uma prática antiga e comum particularmente nos EUA, Bélgica e Holanda (Bray 2008). Os dragados para além de poderem ser benéficos para a agricultura, elevam o nível do terreno. Materiais limpos ou ligeiramente contaminados podem ser empregues na criação destes bancos, no entanto tem que ser removida toda a sua água. Normalmente são depositados em locais temporários para que sequem naturalmente, sendo preciso aproximadamente um ano para que o material seja apto a depositar numa das aplicações anteriormente mencionada.

4.1.1.4 Construção de diques, barragens e dunas

Existem alguns diques construídos ao longo da costa e em terra em que foram usados dragados argilosos, nomeadamente nos EUA e na Holanda. É também possível usar dragados arenosos para a criação de dunas. Assim como dependendo da qualidade e da exigência do projecto, podem ser utilizados dragados em obras de barragens.

4.1.2 Construção

Na indústria da construção, o material dragado pode ter diversos usos. Entre eles estão:

- Materiais de construção e conquista de terrenos ao mar;
- Produção de agregados e *mudcrete*;
- Preenchimento de geotexteis;
- Fabrico de materiais de construção sintéticos.

4.1.2.1 Materiais de construção e conquista de terrenos ao mar

Os dragados como as argilas, areias ou cascalhos podem ser reutilizados na indústria da construção. Estes podem ser usados num vasto número de aplicações como por exemplo em conquista de terrenos, como materiais de substituição, na fundação de infraestruturas rodoviárias ou em barreiras de ruído.

A sua utilização em terra pode envolver secagem e em alguns casos separação granulométrica. As areias e os cascalhos são considerados aptos para recuperações de terrenos, especialmente se estas tiverem como futuro propósito a construção. Enquanto os siltes e as argilas, que estiveram consolidadas durante um longo período de tempo, apenas se tornam aptas para fundações após algum tempo. A maioria dos materiais que provém de dragagens de manutenção é lamacento, no entanto o material proveniente de dragagens de primeiro estabelecimento pode possuir a aptidão certa para a construção.

Os dragados finos, depois de secos, podem ser usados como isolamento de material contaminado quer em terra quer no mar. Outra utilização possível deste material é como selagem na deposição em meio confinado de materiais dragados contaminados.

Os dragados limpos podem ser usados como cobertura de material contaminado como mitigação dos efeitos ecológicos negativos.

Conquista de terrenos

A elevação de terra que esteja mesmo por baixo ou adjacente a uma massa de água é conhecida como conquista de terrenos, porque se considera que se está a conquistar a terra à água (Bray *et al.* 1997). A conquista de terras é uma das reutilizações mais comuns dos dragados. Algo que se deve a existir uma necessidade de conquistar terras para projectos portuários, industriais, residenciais, de agricultura ou até de lazer. Para além disso considera-se mais económico e ambientalmente aceitável a utilização dos dragados em recuperação do que a sua deposição em algum local em terra ou no mar.

Um dos factores determinantes para as conquistas de terrenos são as distâncias de transporte, que podem aumentar muito os custos destas operações. Para além disso, existem vários factores capazes de afectar economicamente e tecnicamente a fiabilidade de um projecto de conquista de terras, tais como:

- O uso e valor final da terra recuperada;
- Os direitos de propriedade da terra;
- Os efeitos ambientais associados;
- As propriedades do terreno onde vai ser fundada a conquista;
- As propriedades do ponto de vista da engenharia dos materiais de preenchimento;
- A disponibilidade do material para construir um dique de contenção;
- Os métodos de dragagem, transporte e deposição dos dragados;
- Os métodos de melhoramento da qualidade dos materiais, se necessário.

4.1.2.2 Agregados

As componentes em areias e cascalhos dos dragados pode ser utilizada como agregado para fazer betão. Materiais que sejam muito siltosos não são considerados aptos para agregados, sendo preferíveis os predominantemente arenosos e as vezes cascalhentos.

A fracção fina coesiva pode ser removida através de métodos como os hidro-ciclones ou as bacias de sedimentação. A presença de sal não é aceitável para casos em que o uso do betão seja para reforços ou outra especificação de elevada exigência. Todavia se a fonte dos materiais for marinha, os materiais devem ser lavados antes de serem utilizados.

4.1.2.3 Mistura com cimento

A adição de cimento a materiais lamacentos pode transforma-los em materiais de construção. O *mudcrete* é uma lama misturada com o comum cimento Portland (Rijkswaterstaat 2004). Este método tem a vantagem de se obter uma boa resistência enquanto se minimiza os efeitos da libertação dos contaminantes. Este processo produz um material muito pouco permeável.

Esta mistura pode ser usada em grandes estruturas e com adequada projecção pode até originar estruturas mais leves que as construídas com métodos convencionais.

4.1.2.4 Utilização com geotexteis

A utilização dos geotexteis tem crescido bastante nos últimos anos. Os dragados também podem ter um papel na sua utilização. É possível usar dragados finos como preenchimento para recipientes de geotêxtil.

O material é colocado em sacos, tubos ou recipientes quer *in situ* quer em batelões de abrir pelo fundo (*split-hull*). Os tubos podem ser preenchidos por meios hidráulicos directamente a partir de dragas como as de sucção com cabeça cortante.

As utilizações possíveis dos recipientes de geotexteis são, de acordo com Rankilor (1994):

- Controlo de escoamento em rios;
- Construção de diques em estuários;
- Alimentação de praias;
- Quebra-mares *offshore*;
- Estabilização de sistemas dunares;
- Estabilização de zonas pantanais (*wetlands*).

4.1.2.5 Tijolos

Segundo Bray (2008) existiram muitas tentativas de produzir tijolos a partir de material dragado, sendo que a maioria destes se deparou com um problema de elevado teor de humidade, o que provocava uma elevada expansão quando os tijolos eram cozidos ou um encolhimento excessivo quando estes eram secos calmamente antes da cozedura.

A experiencia mais relevante foi em Hamburgo, na Alemanha, onde se separaram siltes com um hidrociclone a partir de dragados arenosos não contaminados. Foram produzidos tijolos durante aproximadamente 4 anos. O problema da elevada expansão foi ultrapassado usando um processo de secagem em sistema fechado. Após isso os tijolos eram cozidos a aproximadamente 1100°C. O campo de testes tinha uma capacidade de produção de cerca de 5 milhões de tijolos por ano. Realizaram-se estudos acerca da construção de equipamento para uma produção a larga escala mas os custos associados à aquisição de materiais dragados e conseqüente separação por hidrociclone revelaram-se demasiado elevados, o que levou ao abandono do projecto (Detzner & Knies 2004).

Considera-se esta uma reutilização de dragados que é possível, no entanto devem ser encontrados métodos mais económicos para a separação eficaz dos materiais, de modo a tornar o fabrico de tijolos mais viável.

4.1.3 Agricultura, horticultura e silvicultura

Os materiais dragados, principalmente os provenientes de rios e massas de água em terra, podem ser usados em indústrias como a agricultura, horticultura e silvicultura. Os problemas principais são a presença de possíveis contaminantes, incluindo o sal quando se tratam de casos marinhos, e a necessidade de secagem destes materiais.

Alguns locais de deposição como sistemas fluviais, já providenciaram pastagens para gado, permitindo o crescimento natural ou a plantação de ervas. Outros usos incluem a melhoria em solos marginais. Estes possuem más condições drenantes e físico-químicas, assim como granulometria imprópria. Podem ainda ser de baixa produtividade devido a níveis freáticos elevados e constantes inundações. Os materiais dragados podem ser reutilizados de modo a elevar o valor destes solos ajudando áreas como a agricultura, horticultura e silvicultura (Bray 2008).

4.1.4 Habitat

Os dragados podem ser reutilizados de modo a criar ou manter habitats selvagens. Os tipos habitats possíveis de criar categorizam-se em cinco tipos (*op. cit.* 2008):

- Habitats aquáticos para peixes ou organismos bentónicos;
- Habitats para aves;
- Zonas pantanosas (*wetlands*);
- Salinas;
- Zonas alagadiças intertidais.

Salienta-se que a criação de um novo habitat pressupõe a substituição de um já existente, como tal é necessário um estudo ambiental bastante completo antes de serem tomadas decisões. Deve ser tomado em consideração que estes processos levam inevitavelmente a algumas perdas.

4.2 DEPOSIÇÃO DOS DRAGADOS

A deposição dos dragados pode ser executada em meio aquático ou terrestre. Em meio aquático esta deposição pode ser não confinada ou semi-confinada, dependendo das características que os materiais possuem. Em terra, os dragados são sempre depositados em meios confinados, nas chamadas *confined placement (disposal) facilities* – CDFs.

Seguidamente são apresentadas as principais considerações acerca dos diferentes modos de deposição assim como são analisados os comportamentos que os materiais têm durante e após a intervenção.

4.2.1 Deposição em meio aquático

4.2.1.1 Deposição em meio aquático não confinado

A deposição em meio aquático não confinado é a reintrodução dos sedimentos no sistema aquático a que estes pertencem – como oceanos, estuários, rios ou lagos – fazendo com que os materiais voltem ao seu ciclo natural de sedimentação. Esta operação envolve a deposição de sedimentos limpos ou ligeiramente contaminados, sob a forma de um monte, em fundos marinhos planos ou ligeiramente inclinados.

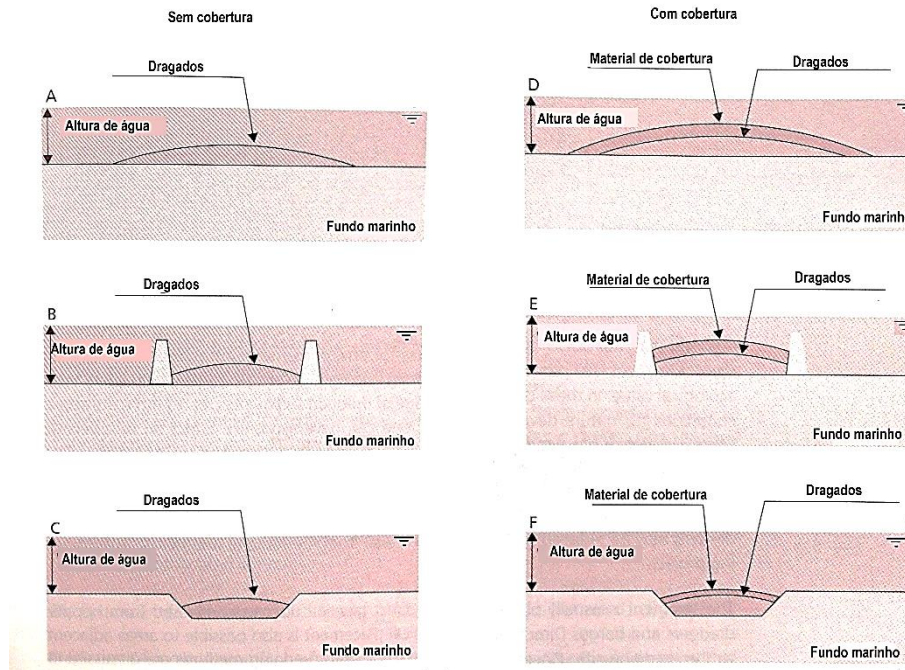


Figura 4. 1 - Deposição aquática não confinada (A), semi-confinada (B e C) e confinada (D a F) (Adaptado de Bray 2008)

Estas deposições podem ser consideradas dispersivas ou retentivas, dependendo de para onde os sedimentos são transportados pelas correntes ou pela acção das ondas. A figura 4.1 mostra no caso A um esquema de deposição aquática não confinada.

4.2.1.2 Deposição em meio aquático semi-confinado

A deposição em meio aquático semi-confinado ocorre quando se usa confinamento lateral para impedir que o material se espalhe no fundo marinho – figura 4.1 casos B e C. A deposição pode ocorrer em depressões naturais ou artificiais como por exemplo manchas de empréstimo, em fossas propositadamente construídas ou entre bermas ou diques criados.

Em alguns casos o preenchimento de áreas de empréstimo com dragados contaminados é uma oportunidade para um restabelecimento ou melhoria do ponto de vista ambiental. Algumas fossas construídas são bastante profundas e possuem um valor ecológico, criando condições mais atractivas para o desenvolvimento natural do local e melhorando a sua biodiversidade.

Os custos da construção de diques ou bermas subaquáticos podem ser reduzidos caso se reutilize materiais provenientes das próprias dragagens ou de projectos de dragagens relativamente próximos.

A deposição é executada normalmente via descarga directa por tubagens, a partir de batelões ou dragas com porão. A descarga mecânica também é possível em projectos em que o local de dragagem se encontre adjacente ao de deposição.

4.2.1.3 Comportamento dos materiais

O comportamento dos materiais quando depositados pode analisar-se em termos de aspectos físicos e de aspectos químicos e bio-químicos. Nos aspectos físicos consideram-se os de curto prazo – que ocorrem nas primeiras horas após a deposição – e os de longo prazo – que ocorrem nos meses ou até anos seguintes.

a) Aspectos físicos a curto prazo

Os aspectos físicos dos materiais nos momentos que precedem a deposição estão relacionados com a forma como o material se deposita, sendo importante analisar a descida do material, a forma como atinge o fundo e a formação do monte. A forma como se deposita varia muito em função do equipamento que é usado, podendo o material ser depositado directamente por meios mecânicos, por intermédio das portas de fundo de um batelão ou através de tubagem.

Outro factor a considerar é a previsão da geometria do monte que se irá formar. É fundamental assegurar que o material depositado não ultrapassa os limites do campo seleccionado para a sua deposição, tendo em conta parâmetros como o seu impacto no fundo (*footprint*), a sua altura e os seus taludes.

Por último há que considerar a dispersão passiva do material. Como este não se deposita todo instantaneamente, a fracção mais fina pode ficar suspensa durante algumas horas. O grau de dispersão física do material é um factor importante para verificar se é aceitável ou não a deposição no meio seleccionado, porque caso os sedimentos estejam contaminados podem haver impactos a nível da coluna de água ou até de alastramento de contaminantes. Todavia, segundo Bray (2008), apenas uma pequena porção de material dos sólidos em suspensão, entre 5 a 20 %, fica exposta a correntes capazes de transportar esse material para outros locais.

b) Aspectos físicos a longo prazo

O comportamento a longo prazo dos materiais está ligado aos processos de consolidação do monte, à suspensão e erosão do material e ao transporte de material que foi erodido do monte.

A consolidação é um processo que influencia muito as características físicas do monte, sendo que normalmente reduz consideravelmente a sua altura. Como tal o seu ritmo de consolidação deve ser previsto, em ordem para estimar a capacidade total do local de deposição (caso se pretenda usar o local futuramente para depositar mais material) e para, no caso da presença de contaminantes, analisar o seu fluxo de modo a determinar qual a melhor cobertura ou de que forma estes se possam propagar para a água ou sedimentos adjacentes.

Em termos de suspensão e erosão do material, os locais de deposição podem ser retentivos ou dispersivos. O que define a susceptibilidade dos locais em reterem ou dispersarem os materiais são as velocidades de corrente de fundo, o potencial para correntes geradas pela ondulação, a granulometria e a coesão do material.

As partículas, dependendo das suas características físicas, podem ser erodidas e futuramente transportadas para outros locais distantes do seu local de deposição. A erosão e transporte estão dependentes das condições hidrodinâmicas do local e podem ser previstos por modelos de transporte dos sedimentos.

c) Aspectos químicos e bio-químicos

Em locais de energia de transporte reduzida, podem ocorrer pequenas mudanças ao nível da natureza físico-química dos materiais, durante a sua deposição. A perturbação biológica a longo prazo pode introduzir oxigénio nas zonas anóxicas profundas do material depositado. Se tal acontecer em mar aberto, as condições de oxidação geralmente levam à formação de sais metálicos de baixa solubilidade, constituindo isto uma mudança química ou biológica a nível dos materiais (Bray 2008).

4.2.2 Deposição em meio confinado

A deposição em meio confinado é executada em estruturas projectadas e construídas especificamente para os dragados – *Confined placement facilities* - CDFs. Estas estruturas têm o principal objectivo de isolar o material dragado dos solos ou águas adjacentes, durante e após a deposição. As CDFs permitem ainda que a água do processo saia da área confinada.

Podem ser construídas na água, como ilhas CDFs (*inland*), em zonas perto da costa (*nearshore*) ou em terra (*upland*). Em ilhas ou estruturas perto da costa, devem ser construídos diques de forma a prevenir o contacto directo entre águas adjacentes.

As CDFs são vistas como uma alternativa de deposição para os sedimentos que não são aptos a serem depositados em meio aquático e provêm habitualmente de dragagens de manutenção de canais ou de dragagens de recuperação ambiental.

Algumas destas estruturas são usadas periodicamente, podendo o seu enchimento total demorar anos. Entre as operações de deposição, podem ser atraídos animais ou desenvolvidos habitats nas suas imediações. A continuação da deposição nestas condições pode gerar conflitos com interesses conservativos, especialmente quando se está nas proximidades de locais de elevada importância ecológica.

As CDFs têm sido usadas para armazenar eficientemente contaminantes e o seu tratamento não tem sido um dos principais objectivos. No entanto, existem pesquisas a decorrer para estudar modos de degradação dos contaminantes nestas estruturas. Pode considerar-se um uso futuro, que iria definitivamente melhorar a rentabilização e utilidade das CDFs.

4.2.2.1 Upland CDFs

Nas estruturas *upland* o material é armazenado acima do nível freático dos terrenos – Figura 4.2. São construídos diques em terra de modo a confinar lateralmente a CDF. Salientam-se dois aspectos:

- A altura piezométrica da água na estrutura actua como uma força descendente, podendo causar a sua infiltração nas águas subterrâneas;
- O material contaminado pode secar e ficar oxidado, o que modifica o seu potencial de dispersão.

Tendo em conta os aspectos mencionados, pode ser necessário a utilização de bases impermeáveis (geomembranas por exemplo) de modo a prevenir a infiltração da água no sub-solo, sendo natural

alguma perda de água derivada do processo de consolidação do material (setas verticais descendentes presentes na figura (4.1)).

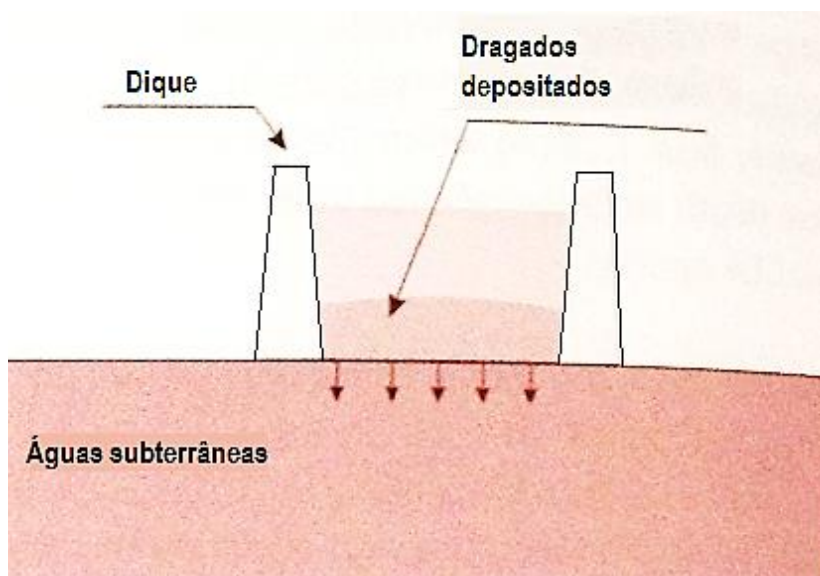


Figura 4. 2 - Esquema representativo de uma *upland CDF* (Adaptado de Bray 2008)

Apresentam-se na tabela 4.1 algumas das principais vantagens e limitações destas estruturas.

Tabela 4. 1- Vantagens e limitações das *upland CDFs* (Adaptado de Bray 2008)

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> • Serem bastante visíveis; • Monitorização relativamente simples. 	<ul style="list-style-type: none"> • Podem ser necessárias medidas para isolar os contaminantes; • Secagem dos materiais aumenta a probabilidade de dispersão destes; • Custos de enchimento relativamente altos, devido a ser uma estrutura em terra; • Os diques podem ser largos e ser um problema estético.

4.2.2.2 Inland/Nearshore CDFs

Uma ilha ou *nearshore CDF* (Figura 4.3) é uma estrutura construída na água em que o material dragado está pelo menos parcialmente armazenado abaixo do nível da água. Caso se pretenda aumentar a sua capacidade, pode escavar-se o terreno antes da construção da estrutura. A principal forma de transporte dos contaminantes para as águas adjacentes vai ser o efluente. A quantidade de efluente deve ser igual à quantidade de material depositado na CDF (Bray 2008).

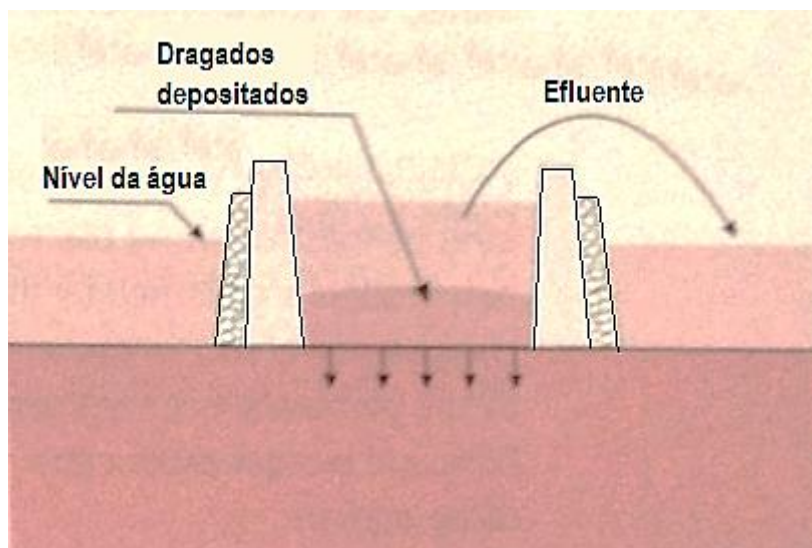


Figura 4. 3 - Esquema representativo de uma *inland / nearshore CDF* (Adaptado de Bray 2008)

Na tabela 4.2, estão listadas algumas das vantagens e limitações deste tipo de estruturas.

Tabela 4. 2 - Vantagens e limitações das *inland / nearshore CDFs* (Adaptado de Bray 2008)

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> • Mantêm condições anóxicas caso os materiais permaneçam saturados; • Serem bastante visíveis; • Ocorre menos dispersão para as águas superficiais; • A altura piezométrica pode ser controlada; • Monitorização relativamente simples. 	<ul style="list-style-type: none"> • Afecta o tráfego de navios significativamente; • Diques esteticamente pouco apreciados pela população local.

4.2.2.3 Comportamento dos materiais

O comportamento dos materiais durante e após a sua deposição em CDFs pode ser analisado quanto a aspectos físicos e aspectos químicos e bio-químicos (à semelhança dos depositados em meio aquático).

a) Aspectos físicos

Quando os materiais são depositados nas CDFs hidraulicamente, a fracção granular deposita-se rapidamente no fundo formando montes à medida que se muda o local de deposição. A fracção fina fica suspensa dentro da área de contenção e vai-se depositando lentamente, formando uma camada superficial. A água clarificada, a que se chama efluente, é descarregada na CDF através de uma estrutura externa. Quando o material é depositado mecanicamente, possui ou está próximo do seu teor em água *in situ*, o que faz com que a forma de deposição não seja considerada tão importante.

Os sedimentos depositados iniciam a consolidação após a sua deposição, sendo este processo regulado pelas características físicas do material como a densidade, compressibilidade e

permeabilidade. A capacidade de armazenamento total da estrutura vai estar dependente do grau de consolidação atingido.

Senão forem tidos cuidados, a superfície começa a secar. Quando tal acontece a superfície começa a fissurar e a vegetação floresce imediatamente.

b) Aspectos químicos e bio-químicos

Os principais aspectos químicos e bio-químicos do comportamento dos materiais quando depositados em CDFs estão associados à mobilidade dos contaminantes e à biodegradação da matéria orgânica.

A potencial contaminação dos locais adjacentes às CDFs estão dependentes dos processos físico-químicos e bio-químicos que ocorrem dentro das estruturas. Estes processos estão dependentes da disponibilidade de oxigénio que por sua vez depende do grau de saturação dos materiais. Os sedimentos quando depositados estão saturados e anóxicos, estado em que a maioria dos contaminantes se encontra imóvel. À medida que o material começa a secar e a ficar exposto à atmosfera, ocorre oxidação. A oxidação e redução do pH pode levar a transformações químicas nos sedimentos que favoreçam a libertação das partículas metálicas para a água (Deibel *et al.* 1996).

Deve ainda considerar-se a biodegradação da matéria orgânica presente nos sedimentos. Esta pode originar efeitos ambientais como a produção de gás. Os gases produzidos são normalmente metano e dióxido de carbono.

4.3 TRATAMENTO DOS DRAGADOS

O tratamento dos dragados pode ser processado de diversas formas. Não existe uma que consiga tratar todos os sedimentos de uma vez, como tal são muitas vezes utilizadas mais do que uma técnica, de modo a lidar com contaminantes que se encontram em diferentes proporções nos sedimentos.

Salienta-se que os tratamentos têm normalmente os seus impactos ambientais, como descargas de águas residuais, emissões de gás, produção de resíduos altamente perigosos, entre outros.

Nesta secção são abordados os principais tipos de tratamentos, que podem ser:

- Pré-tratamento;
- Físico-químicos;
- Biológicos;
- Térmicos;
- Electrocínéticos.

4.3.1 Pré-tratamento

O objectivo do pré-tratamento é reduzir a quantidade de material que irá necessitar de um tratamento mais específico ou deposição mais controlada. As técnicas utilizadas baseiam-se na adesão dos contaminantes aos grãos dos materiais.

O pré-tratamento pode ser processado através dos seguintes métodos:

- Bacias de separação;
- Hidrociclones;
- Flutuação;
- Remoção de água (*dewatering*);
- Separação magnética.

4.3.2 Tratamento físico-químico

Os processos de tratamento físico-químicos utilizam processos químicos capazes de remover, modificar ou estabilizar os contaminantes presentes nos dragados.

Os tratamentos podem tratar os materiais utilizando técnicas de extração e de imobilização, oxidação de ar líquido, catalisadores de decomposição (*Base-Catalysed Decomposition*) e troca iónica.

4.3.3 Tratamento biológico

O tratamento biológico dos materiais tem como objectivo transformar os contaminantes orgânicos em compostos inofensivos através de micro-organismos. Este pode ser processado através da agricultura ou de um bio-reactor. A eficácia deste processo depende da temperatura, humidade e nutrientes presentes (Bray 2008). Salienta-se que estes tratamentos apenas afectam os compostos orgânicos, logo quaisquer metais tóxicos ou substâncias não biodegradáveis permaneceram nos sedimentos.

4.3.4 Tratamento térmico

O tratamento por processos térmicos pode ser utilizado para remover, eliminar ou imobilizar determinados contaminantes. Normalmente estes processos requerem secagem dos sedimentos como pré-tratamento. Para operações a grande escala podem precisar de uma fonte de aquecimento considerável, fazendo com que sejam passíveis emissões de químicos. Estes tratamentos podem ser executados por dessorção (*desorption*) ou imobilização termal, assim como por incineração.

4.3.5 Tratamento electrocinético

Uma corrente directa aplicada num solo saturado com contaminantes leva a ocorrência de transporte de iões metálicos. Os métodos de tratamento electrocinéticos processam-se através destes mecanismos de transporte de iões. Existem quatro tipos de mecanismos:

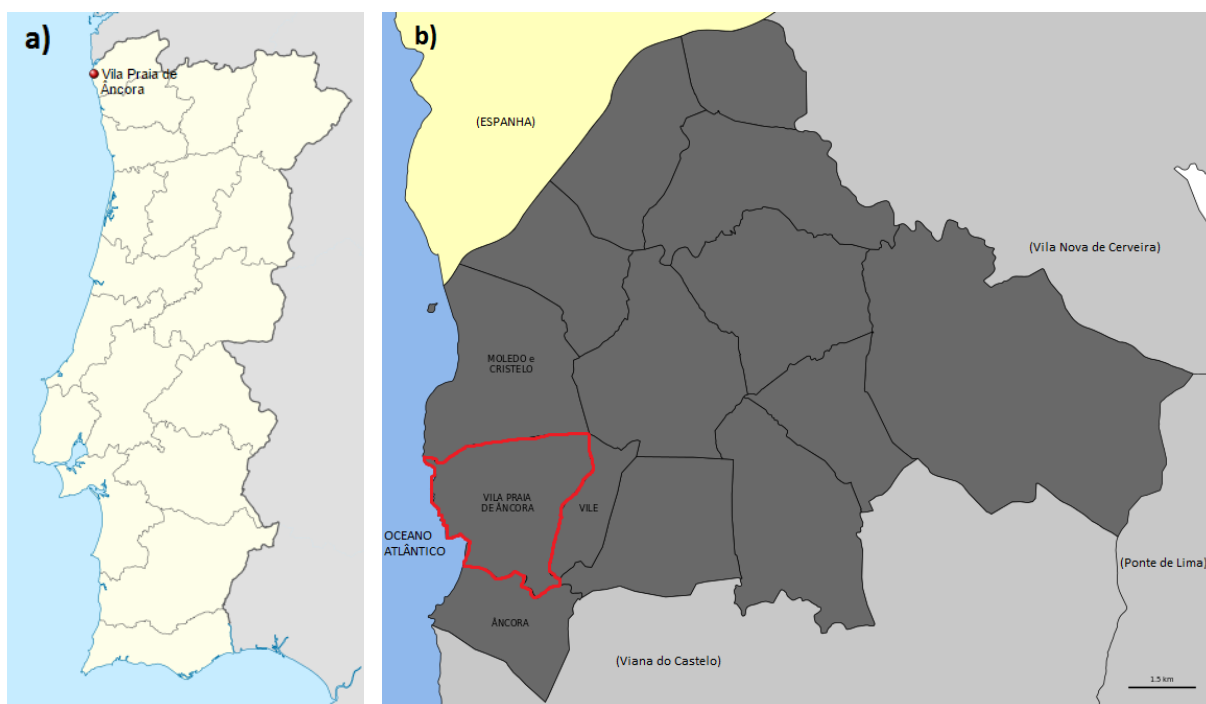
- Adveção por electro-osmose;
- Adveção por diferenças de potenciais hidráulicos;
- Difusão devido à concentração dos gradientes;
- Migração iónica como consequência do gradiente eléctrico.

5. CASO DE ESTUDO – DRAGAGENS DE MANUTENÇÃO EM VILA PRAIA DE ÂNCORA

5.1 ENQUADRAMENTO DO PROJECTO

O caso de estudo da presente dissertação são as dragagens de manutenção efectuadas em 2015 no portinho de Vila Praia de Âncora.

A Vila Praia de Âncora é uma vila do concelho de Caminha no distrito de Viana do Castelo (Região Norte de Portugal Continental), que é limitada a Norte pela união de freguesias de Moledo e Cristelo, a Este pela freguesia de Vile, a Sul pela freguesia de Âncora e a Oeste pelo Oceano Atlântico – Figura 5.1. Esta vila possui um portinho tradicional cuja actividade principal é a pesca.



a) Em Portugal

b) No concelho de Caminha

Figura 5. 1- Enquadramento geográfico de Vila Praia de Âncora (adaptado de pt.wikipedia.org/wiki/Caminha)

A importância socio-económica do portinho é considerável localmente e relativamente reduzida a nível regional. Possui cerca de 40 embarcações licenciadas e uma centena de pescadores matriculados, tendo um volume de pescas que ultrapassa as 100 t/ano (Dados do ano de 2007; INE, 2009). As embarcações que habitualmente utilizam o Portinho são de pesca artesanal e inferiores a 12 m de comprimento (DGRM 2015b).

O Portinho (Figura 5.2) foi construído em 2003, substituindo um porto antigo, de menor dimensão, que se encontrava naquela área, de modo a providenciar melhores condições e uma maior segurança à comunidade pescadora local. A nova estrutura portuária introduziu alterações no transporte marítimo local (Santos-Ferreira *et al.* 2015b).



Figura 5. 2- Fotografia aérea do Portinho de Vila Praia de Âncora (Google Earth © 2006)

Ele é afectado por taxas de sedimentação elevadas, que se devem ao facto da forma do porto ter uma implantação inadequada em relação às condições hidrodinâmicas muito particulares do local (Santos-Ferreira *et al.* 2015b). De forma a manter as capacidades de navegação para os barcos de pesca são realizadas, anualmente, dragagens de manutenção. O presente estudo incide na caracterização dos dragados provenientes da última dragagem de manutenção (2015) executada nesta infra-estrutura.

5.2 ANÁLISE CRONOLÓGICA DAS DRAGAGENS

Desde o ano de 2005 até ao momento foram realizadas 8 dragagens de manutenção no Portinho de Vila Praia de Âncora. O seu ano de realização e respectivos volumes dragados apresentam-se na Tabela 5.1, com excepção para o ano de 2015, que será abordado adiante com maior ênfase.

Tabela 5. 1 - Volumes dragados por ano, desde 2005

Ano	2005	2006	2007	2009	2012	2013	2014
Volume (m ³)	10.000	27.000	18.500	30.000	56.200	45.300	51.000

Os sedimentos dragados são maioritariamente arenosos, contendo uma quantidade de finos considerada desprezável. A sua classificação quanto à aptidão ambiental é habitualmente de classe 2 no interior do porto e de classe 1 na zona junto à barra (Canelas 2016).

Ao longo dos últimos anos, o destino dado aos dragados foi a comercialização (quanto esta ainda era permitida), a imersão no mar, a deriva litoral e a alimentação de praias. Um registo mais aprofundado do destino e a respectiva proporção volumétrica está representado na tabela 4.2.

Tabela 5. 2 - Destino dado aos dragados desde o ano de 2005

Ano	Destino
2005	10.000 m ³ - Comercialização
2006	27.000 m ³ - Imersão a 2 milhas de distância
2007	18.500 m ³ - Imersão a 2 milhas de distância
2009	30.000 m ³ - Imersão a 2 milhas de distância
2012	<ul style="list-style-type: none"> • 27.000 m³ – Deriva litoral; • 22.700 m³ – Alimentação de praias; • 6500 m³ – Imersão a 2 milhas de distância
2013	<ul style="list-style-type: none"> • 39.300 m³ – Deriva litoral; • 6000 m³ – Imersão a 2 milhas de distância
2014	<ul style="list-style-type: none"> • 44.000 m³ – Deriva litoral; • 7000 m³ – Imersão a 2 milhas de distância

5.3 ANÁLISE DOS DRAGADOS DE 2015

O Projecto de dragagens de manutenção em 2015, feito de acordo com os Planos plurianuais de dragagens portuárias 2011 – 2015 (IPTM 2010a e 2010b), foi executado devido a assoreamentos ao longo do Portinho que comprometiam, seriamente, a operacionalidade dos barcos que o utilizavam. O projecto de execução definiu diferentes zonas que necessitam de ser dragadas a cotas diferentes. No interior do portinho as cotas de dragagem variam desde -1m (ZH) – na zona nascente do portinho – até 2m (ZH) – na zona entre os molhes e canal de acesso ao cais, enquanto o canal de acesso ao portinho será dragado à cota -3m (ZH), (DGRM 2015b).

De modo a identificar as diferentes zonas de dragagem, atribuíram-se designações a cada uma, conforme mostra a figura 5.3.



Figura 5. 3 - Fotografia aérea com representação das diferentes áreas de dragagem (Google Earth © 2006)

As campanhas de amostragem para caracterização dos sedimentos foram executadas em cinco pontos diferentes, um em cada uma das diferentes zonas de dragagem, com excepção da Zona -3 em que se executaram em dois pontos. Em cada um dos pontos foram colhidas amostras: à superfície dos sedimentos, à cota -2 e uma amostra compósita com constituição igualmente dividida por topo, meio e fundo dos sedimentos. As amostras foram colhidas através de *corers* verticais e a sua localização está representada na figura 5.4.



Figura 5. 4 - Localização dos pontos de amostragem, escala 1:5000, orientada a Norte (ArcMap - Esri World Imagery)

5.3.1 Dados fornecidos

Os dados fornecidos pela DGRM para o desenvolver deste estudo foram os seguintes:

- Informação referente às dragagens anteriormente executadas, nomeadamente volumes de dragagem, classes de contaminação e destino dado aos dragados (Canelas 2016, comunicação escrita)
- Caderno de encargos da obra, nomeadamente as partes das condições técnicas e do projecto de execução (DGRM 2015a e 2015b);
- Ficheiro dwg com a batimetria do local, assim como as áreas a dragar a diferentes cotas delimitadas e as infra-estruturas adjacentes ao porto (DGRM 2015c);
- Relatório e resultados das campanhas de amostragem com informação acerca da caracterização físico-química dos dragados (DGRM 2015d).

5.3.2 Fluxogramas da metodologia usada

A análise dos dragados foi efectuada através do programa ArcGIS da Esri e divide-se em duas etapas: a determinação dos volumes de dragagens totais e parciais (por cada zona onde a cota de dragagem é diferente), em que será gerado um modelo digital de altitudes – MDA, e mapas de volumes; e a análise física e química dos dragados, em que são gerados mapas de teores químicos e de granulometrias.

5.3.2.1 Metodologia para determinação de volumes

Para a determinação dos volumes foram usados os pontos cotados do levantamento batimétrico. Utilizou-se a ferramenta *create TIN* para criar um MDA do fundo junto ao porto. Esse MDA foi editado a partir da ferramenta *edit TIN*, dividindo-se em quatro modelos digitais de terreno, cada um com a sua zona de dragagem: a zona com cota de dragagem -1 (*Zona -1*), a zona com cota de dragagem -3 (*Zona -3*) e as zonas com cotas de dragagem -2 (*Zona -2A* e *Zona -2B*). A partir dessas zonas foi usada a ferramenta *Surface Volume* para interceptar o MDA de cada zona com um plano cotado à respectiva cota de dragagem, calculando o volume acima desse plano. Esta metodologia pode ser explicada através do fluxograma presente na figura 5.5.

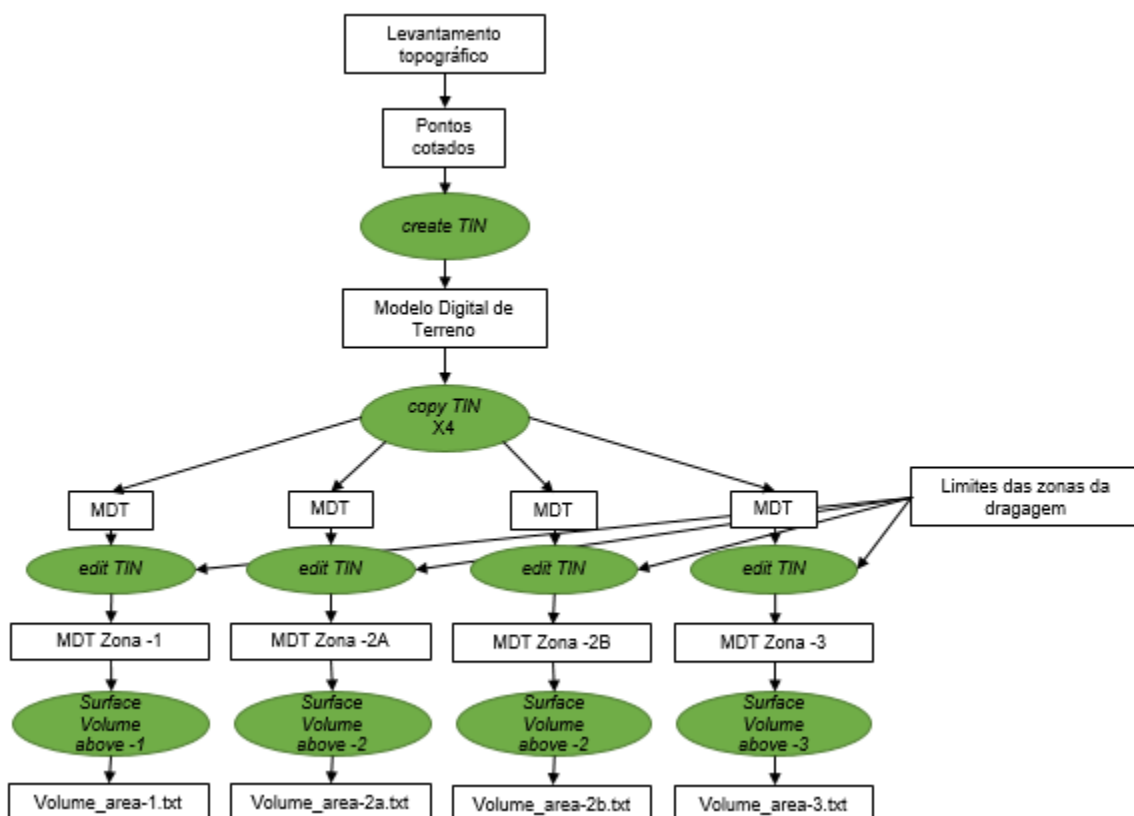


Figura 5. 5 - Fluxograma da metodologia usada para o cálculo de volumes de dragados

5.3.2.1 Metodologia para análise física e química dos dragados

Para analisar física e quimicamente os dragados deve-se, em primeiro lugar, analisar os resultados dos ensaios realizados nas amostras. Assim, consegue-se escolher que parâmetros faz sentido explorar, algo que ajuda a planificar o estudo a desempenhar.

Em termos físicos as amostras apresentam pouca variedade. São areias com vestígios de uma fracção de finos (< 1%). Como tal, optou-se por caracterizar a fracção arenosa: em fina – com dimensões entre 0,075 e 0,2mm; média – com dimensões entre 0,2 e 0,6mm; e grossa – com dimensões entre 0,6 e 2mm. A percentagem de areia retida nas dimensões 0,2 mm e 2 mm foram extrapoladas uma vez que não ser possível utilizar crivos com malha dessa dimensão. Salienta-se que, em algumas amostras, a percentagem de material com dimensões superiores a 2mm chega a 15%. Essa fracção, que é classificada como cascalho, não vai ser trabalhada na análise em SIG, que se reporta apenas à fracção de areia.

As amostras em termos de características químicas, nomeadamente da análise da presença de contaminantes, são na sua maioria uniformes e sem grandes variações, demonstrando a acção do transporte da linha de água. Todos os teores de contaminantes, à excepção do teor em Arsénio, Zinco e da soma dos PAH, são praticamente iguais em todas as amostras colhidas e, dada a sua classificação quanto à aptidão ambiental (segundo a Portaria n.º1450/2007 de 12 de Novembro) ser de classe 1, torna-se pouco ou nada relevante trabalhar os seus dados. Escolheram-se então para dados de estudo, os teores de Arsénio, Zinco e da soma dos PAH.

Pretende-se então, caracterizar toda a área do Portinho quanto à sua percentagem de areias finas, médias e grossas e quanto ao seu teor em Arsénio, Zinco e PAH (soma). Estas caracterizações vão ser executadas em termos da superfície dos sedimentos e a 2 m de profundidade, sendo descartadas as amostras compósitas que poderiam enviesar o estudo pretendido. Devido à fraca correlação existente entre as amostras e não sendo possível ajustar variogramas, descartaram-se os métodos geoestatísticos, como a krigagem, e escolheu-se usar a interpolação pelo inverso do quadrado das distâncias.

Dividiram-se então as amostras em *topo* e *fundo* e utilizou-se a ferramenta *IDW*, que faz uma interpolação das amostras pelo inverso do quadrado da distância, para gerar um mapa de teor / percentagem de areia, que depois se estendeu para cobrir a área total do portinho. Posteriormente converteu-se o *layer* obtido num *raster* (modelo matricial), para que depois se pudesse utilizar a ferramenta *Times*, que multiplica matrizes, para multiplicar o mapa de teor / percentagem de areia pelas áreas de dragagem, de modo a obter uma interpolação apenas na área que irá ser intervencionada dentro do portinho. Estas etapas foram efectuadas para cada contaminante e fracção de areia. Depois, apenas nos teores de contaminantes, considerou-se relevante classificar os mapas obtidos para estarem de acordo com as classes de aptidão ambiental presentes na Portaria n.º1450/2007 de 12 de Novembro, de modo a visualizar de imediato quais as zonas potencialmente contaminadas que requerem especial atenção. Apresenta-se um resumo desta metodologia, sob a forma de fluxograma, na figura 5.6.

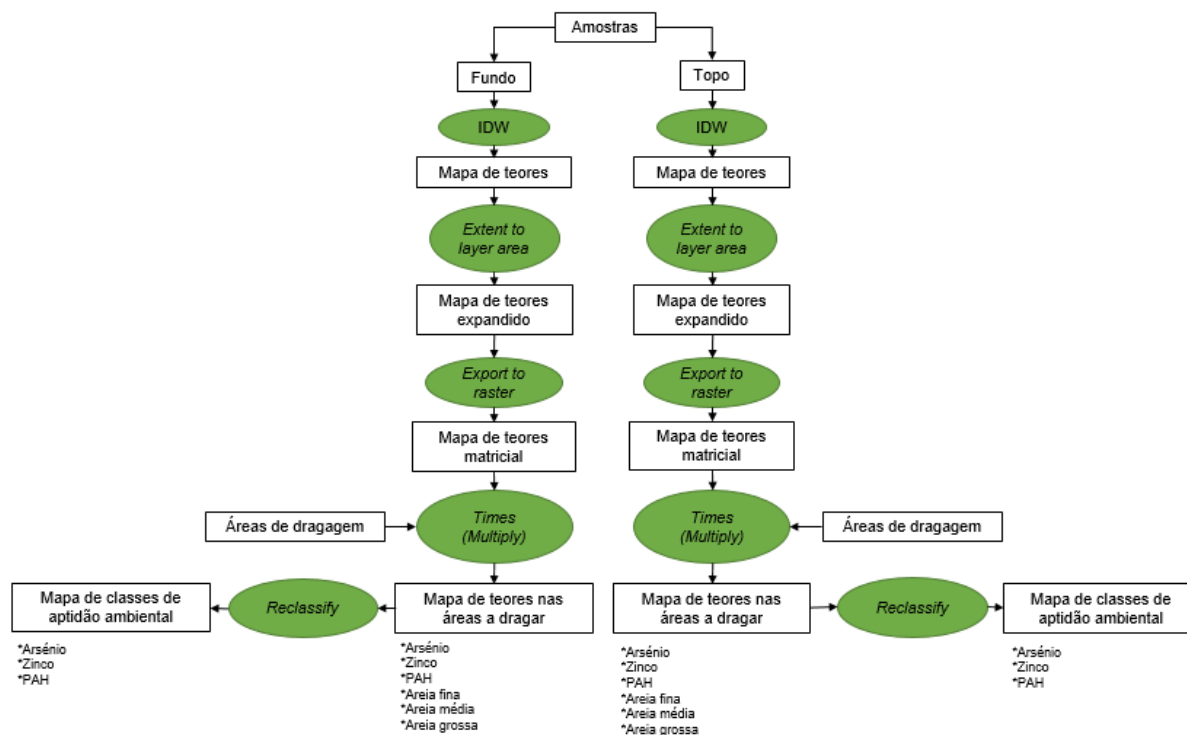


Figura 5. 6 - Fluxograma da metodologia usada para a interpolação de teores de contaminantes e fracções arenosas

5.3.3 Resultados obtidos

Nesta secção apresentam-se alguns mapas obtidos como resultado do estudo aplicado. São ainda referidas algumas das conclusões provenientes da análise desses mapas.

5.3.3.1 Determinação de volumes de dragagem

O modelo digital de altitudes obtido é, na realidade, o agrupamento de 4 MDA editados em função da zona a dragar – Figura 5.7. Excluiu-se a zona do pontão porque se considerou que não faria sentido determinar lá a elevação, devido ao facto de la estar presente uma estrutura.

No mapa obtido pode verificar-se o estado em que o Portinho de Vila Praia de Âncora se encontrava, com assoreamentos em locais onde os barcos normalmente circulam ou atracam, dificultando ou até tornando impossível as operações de pesca do porto.

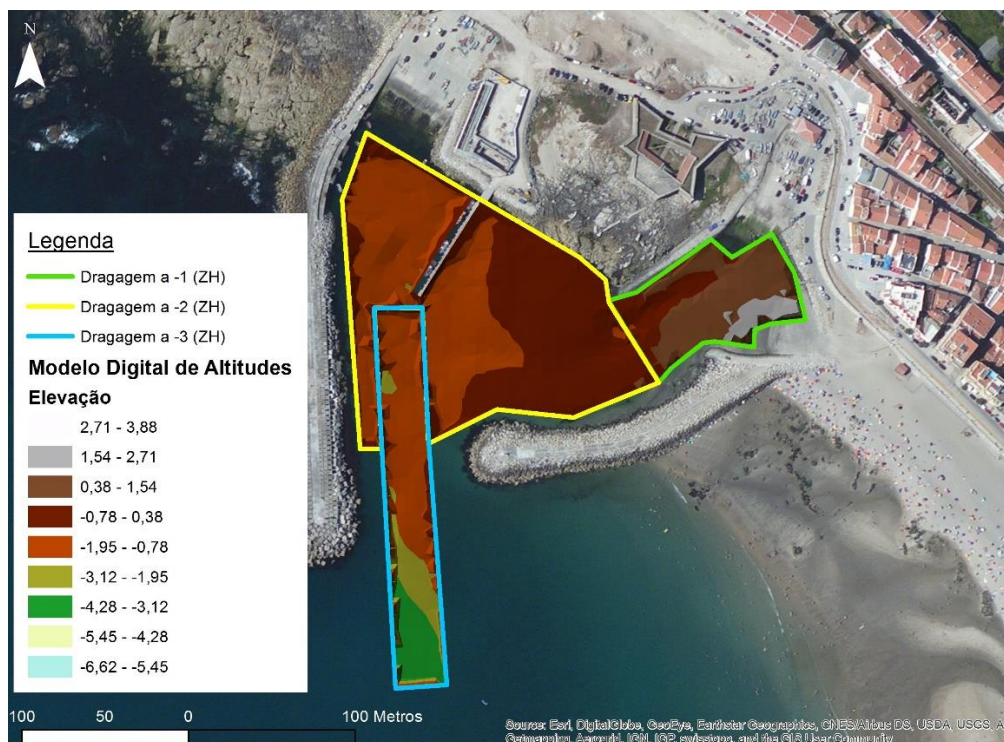


Figura 5. 7 - Modelo Digital de Altitudes do Portinho de Vila Praia de Âncora - ArcMap

A separação do MDA permitiu a determinação dos volumes de dragagem separadamente em função da cota de dragagem de cada um. Com a aplicação da função *Surface volume* foram obtidas tabelas que contemplam as áreas e volumes de cada zona. A Tabela 5.3 sintetiza os resultados obtidos.

Tabela 5. 3- Áreas e volumes de dragagem, parciais e totais

Zona	Area (m ²)	Volume (m ³)
-1	5471,97	9800,55
-2A	6425,83	5853,44
-2B	12646,61	18604,59
-3	6647,63	8282,05
Totais	31192,04	42540,62

Obteve-se um total de aproximadamente 43.000 m³ de material a ser dragado. Este valor é da ordem de grandeza dos volumes dragados nos últimos 3 anos, em que as dragagens ocorreram em anos consecutivos. O facto de ser um pouco mais baixo que o dos anos anteriores pode dever-se a não estarem contemplados neste cálculo o volume dos taludes de dragagem, que tem que ser executado separadamente, devido à função do ArcGIS apenas interceptar o terreno com uma superfície plana horizontal.

5.3.3.2 Análise das granulometrias

Como foi referido anteriormente, a análise das granulometrias dos materiais apenas foi executada nas areias, determinando as percentagens de areias grossas, médias e finas. Contudo, apesar da

percentagem de finos ser reduzida, a percentagem de cascalho é em algumas amostras superior a 10%, pelo que o total da fracção arenosa oscila entre 75 e 98%.

Em primeiro lugar são analisadas as areias finas, seguindo-se as médias e depois as grossas.

Areia fina

A fracção dos materiais em areia fina, como mostram as Figuras 5.8 e 5.9 referentes ao topo e base dos sedimentos respectivamente, é relativamente baixa, nunca ultrapassando os 7% e assumindo-se como a menor fracção de areia nestes materiais.



Figura 5. 8 – Mapa de representação da areia fina no topo dos sedimentos - ArcMap



Figura 5. 9 – Mapa de representação da areia fina na base dos sedimentos – ArcMap

Tanto no topo como na base, os locais de acumulação com maior percentagem de areia fina situam-se junto à barra, verificando uma tendência, embora seja considerada pouco significativa tendo em conta as percentagens em questão.

Areia média

A fracção dos materiais em areia média constitui uma porção significativa do total, chegando a atingir valores de 44%. A sua representação, no topo e na base, encontra-se respectivamente nas Figuras 5.10 e 5.11.

No que diz respeito aos sedimentos no topo dos materiais, as areias médias concentram-se entre a barra e o canal de acesso ao cais, atingindo neste local o seu valor máximo.

A concentração de areia média na base dos materiais é maior junto à entrada para o portinho, assumindo valores mínimos na nascente do portinho e no canal de acesso.

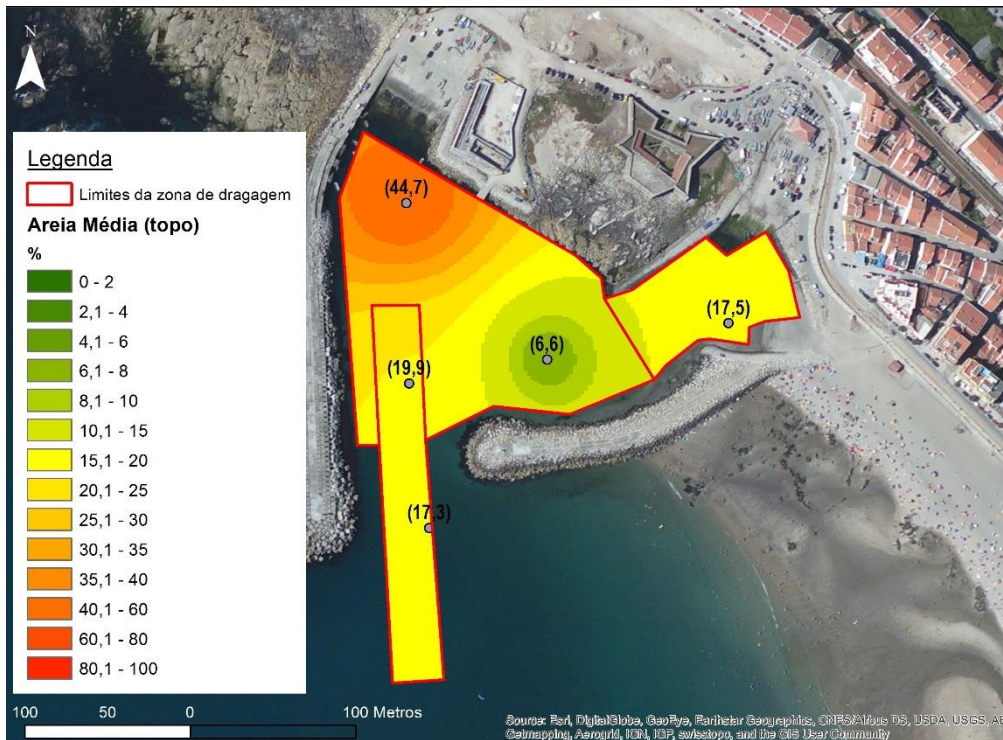


Figura 5. 10 - Mapa de representação da areia média no topo dos sedimentos – ArcMap

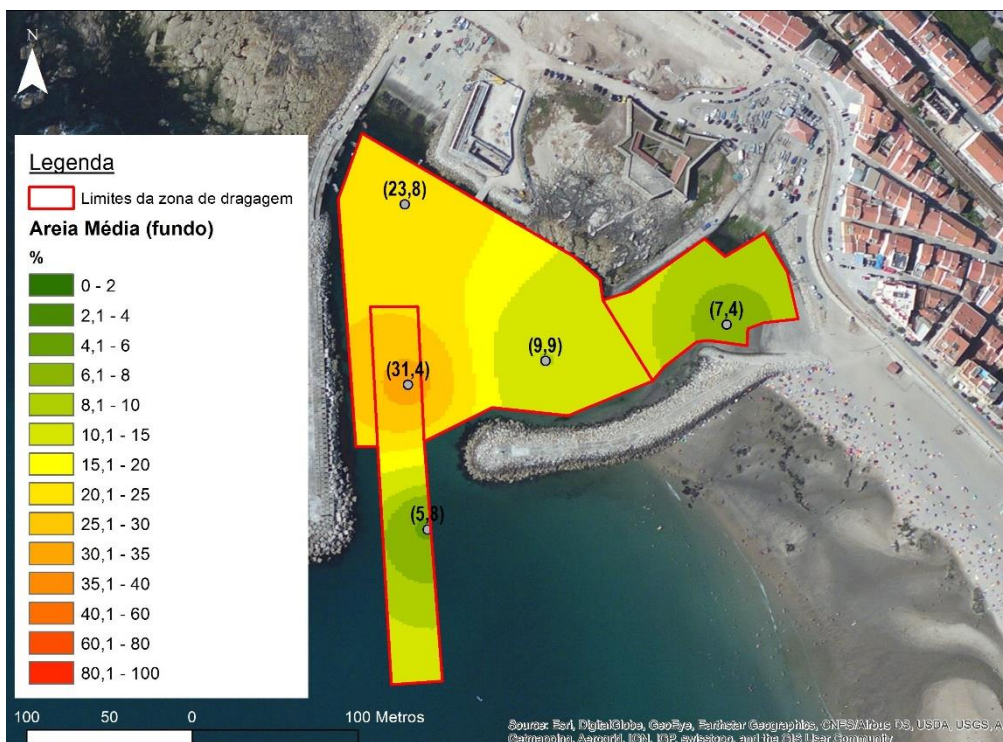


Figura 5. 11 - Mapa de representação da areia média na base dos sedimentos – ArcMap

Areia grossa

A areia grossa constitui a porção maioritária dos materiais, assumindo valores entre os 40 e 80 %. As Figuras 5.12 e 5.13 representam os mapas de distribuição deste intervalo de granulometrias, sendo que a primeira é referente aos sedimentos do topo enquanto a segunda se aplica à base.

A fracção mais grosseira dos sedimentos concentra-se principalmente na nascente do portinho e no seu canal de acesso, quer nos sedimentos do topo quer nos sedimentos da base. Os valores mínimos, embora elevados quando comparados com as percentagens de areias médias e finas, ocorrem no canal de acesso ao cais, abrindo espaço para que as restantes fracções se expressem com maior significância neste local – algo que é confirmado anteriores figuras.

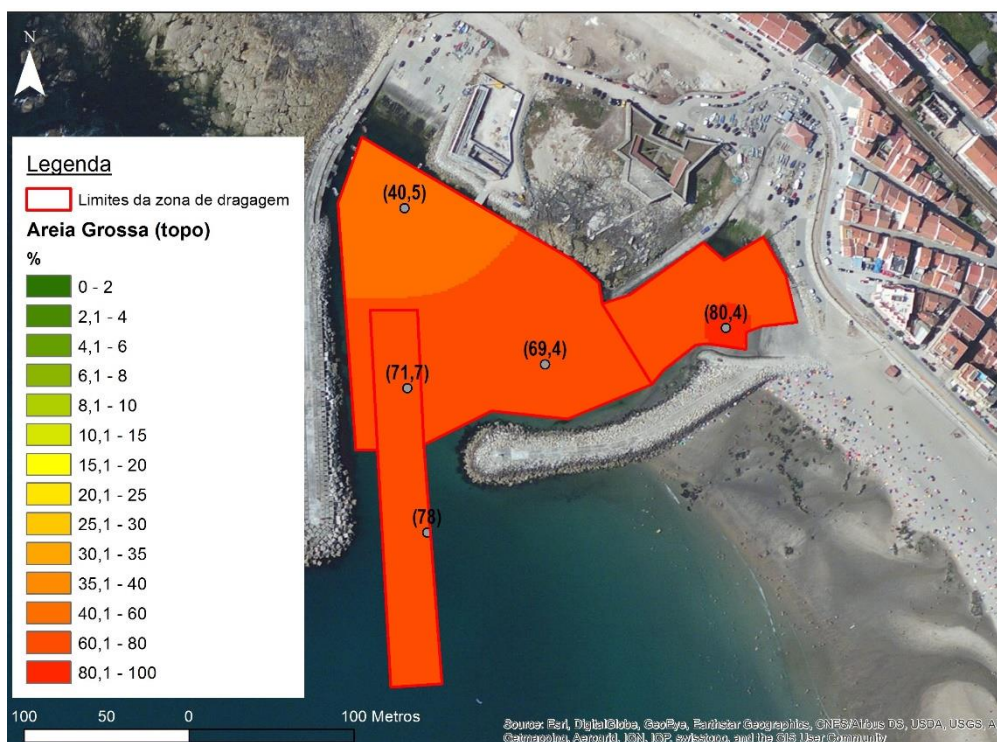


Figura 5. 12 - Mapa de representação da areia grossa no topo dos sedimentos – ArcMap

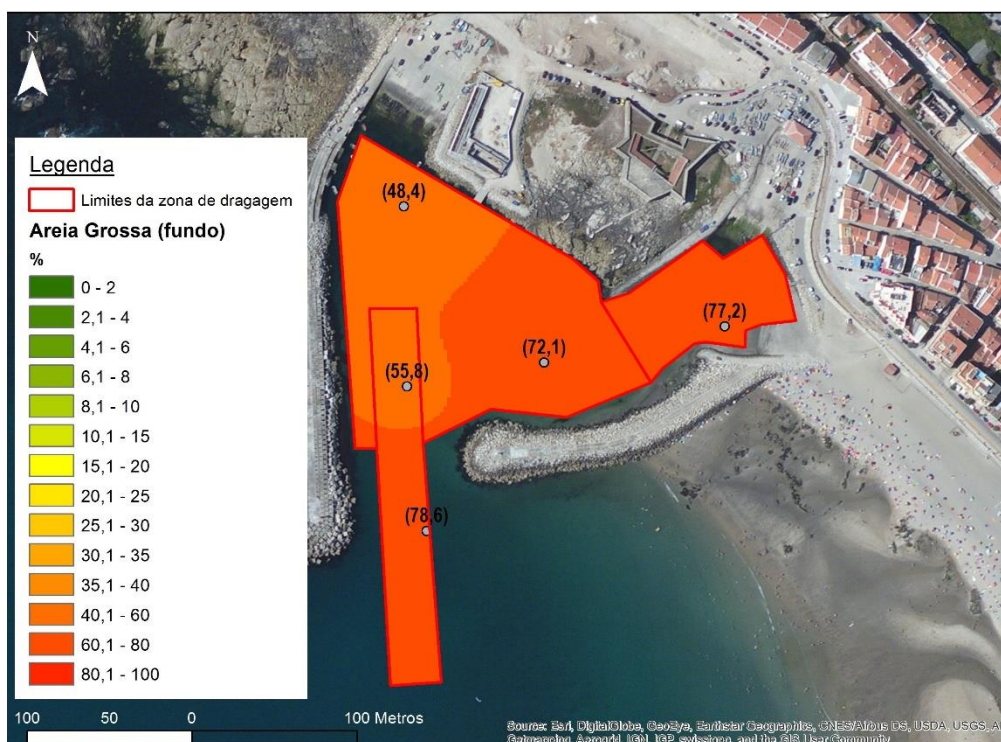


Figura 5. 13 - Mapa de representação da areia grossa na base dos sedimentos – ArcMap

5.3.3.3 Análise dos teores químicos e classificação quanto à sua aptidão ambiental

A análise quanto a teores químicos, ao encontro do que foi escrito anteriormente, foi apenas executada nos contaminantes que expressavam alguma variabilidade de valores, a saber: Arsénio, Zinco e PAH (soma).

a) Arsénio

A distribuição do teor em Arsénio dos materiais está representado nas figuras 5.14 (topo) e 5.15 (base). O teor em Arsénio varia entre 4,9 e 33 mg/kg, atingindo o seu máximo junto à rampa de acesso ao cais, algo que pode estar associado à presença de uma fracção mais fina nesse local ou a materiais mais antigos que possam estar no fundo e que ano após ano lá permanecem devido à cota de dragagem ser superior à que estes se encontram. Os teores nos restantes locais são relativamente baixos e uniformes. Salienta-se que o elevado teor presente no local anteriormente mencionado está situado onde foi colhida uma amostra. Pelo que o seu valor influencia consideravelmente a vizinhança da amostra.

De modo a classificar a aptidão ambiental dos materiais que são dragados deve recorrer-se aos seus limites aceitáveis segundo a legislação. A Tabela 5.4 sintetiza os valores de referência para o Arsénio.

Tabela 5. 4 - Classificação ambiental dos materiais quanto ao seu teor em Arsénio (adaptado de Anexo III da Portaria n.º1450/2007 de 12 de Novembro)

Parâmetro (mg/kg)	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Arsénio	< 20	20 - 50	50 - 100	100 - 500	> 500

O teor em Arsénio só ultrapassa os 20 mg/kg (limite da classe 1) nos sedimentos da base - Figura 5.15, como tal a reclassificação visou apenas esse mapa, porque a aplicação no topo não faz sentido sabendo de antemão que todos os sedimentos são de classe 1. O resultado obtido está representado na figura 5.16.



Figura 5. 14 - Distribuição dos teores em Arsénio dos sedimentos do topo na área do portinho de Vila Praia de Âncora – ArcMap

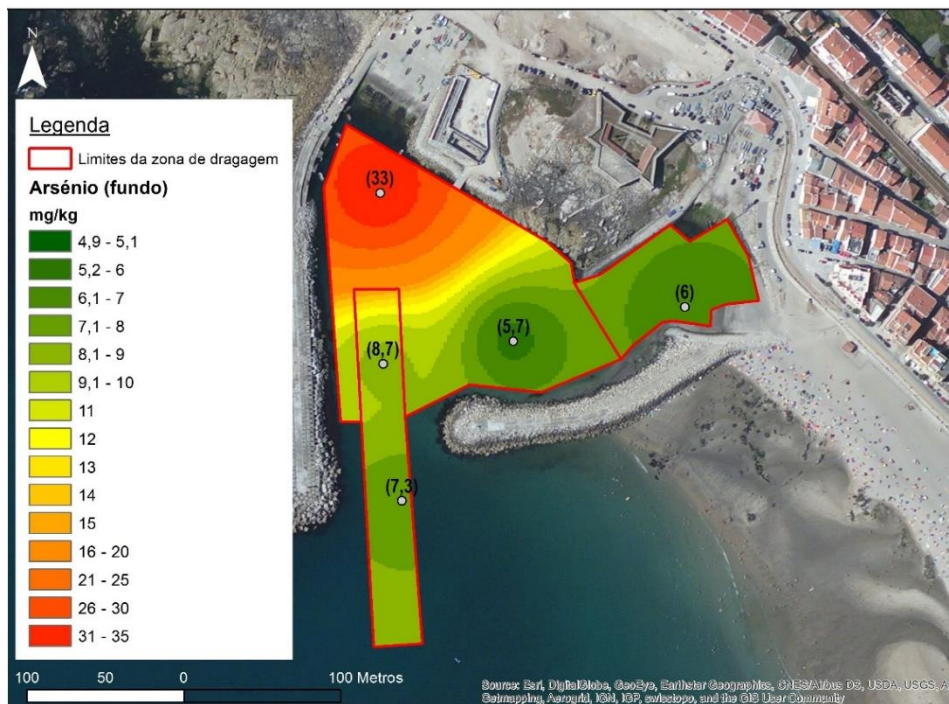


Figura 5. 15 - Distribuição dos teores em Arsénio dos sedimentos da base na área do portinho de Vila Praia de Âncora – ArcMap



Figura 5. 16 - Mapa de aptidão ambiental dos materiais quanto ao seu teor em Arsênio - ArcMap

O mapa obtido apresenta duas classes distintas de contaminação, a classe 1 que contempla material dragado limpo e a classe 2 que contempla material dragado com vestígios de contaminantes. A existência de materiais de classe 2 pode condicionar o destino a dar aos dragados.

b) Zinco

A teores em Zinco variam entre 17 e 38 mg/kg e a sua distribuição está representada nas figuras 5.17 e 5.18, sendo o topo e a base dos sedimentos respectivamente. Os teores mais altos ocorrem junto à barra na zona de entrada do portinho e rampa de acesso ao cais, quer no topo quer na base dos sedimentos. Nos restantes locais do portinho os teores são praticamente uniformes.

Os limites de classificação ambiental para o Zinco excedem a classe 1 para teores superiores a 100 mg/kg, conforme mostra a Tabela 5.5. Como o valor máximo é 38 mg/kg, considera-se irrelevante reclassificar quaisquer um dos anteriores mapas e pode concluir-se que todos os sedimentos são limpos e são de classe 1.

Tabela 5. 5 - Classificação ambiental dos materiais quanto ao seu teor em Zinco (adaptado de Anexo III da Portaria n.º1450/2007 de 12 de Novembro)

Parâmetro (mg/kg)	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Zinco	< 100	100 - 600	600 - 1 500	1 500 - 5 000	> 5 000

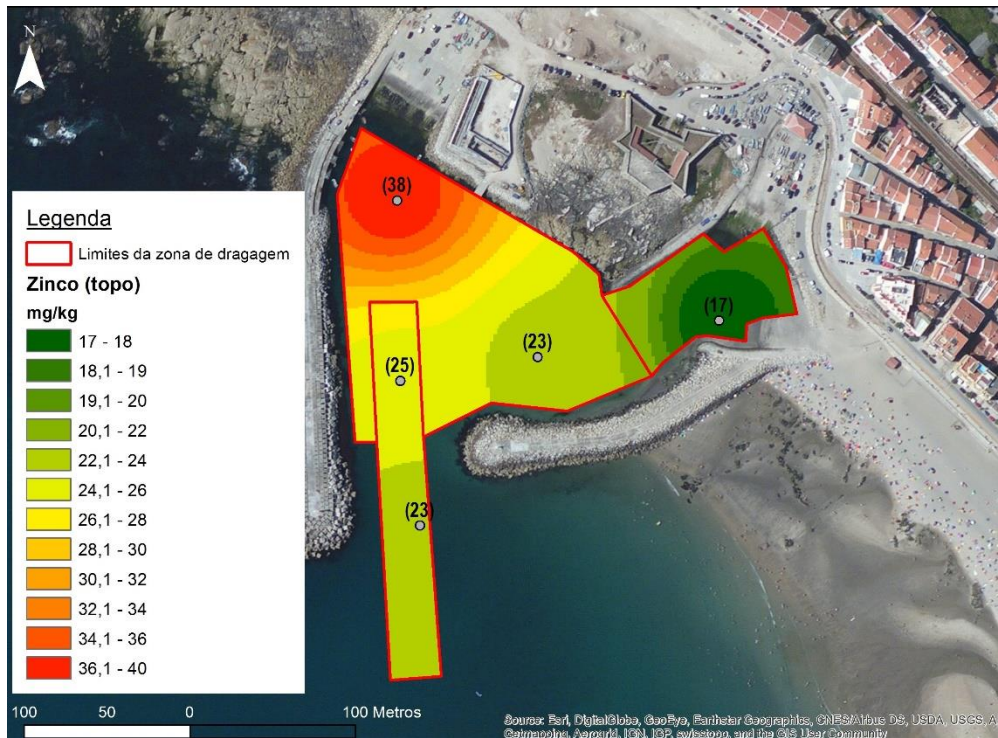


Figura 5. 17- Distribuição dos teores em Zinco dos sedimentos do topo na área do portinho de Vila Praia de Âncora – ArcMap

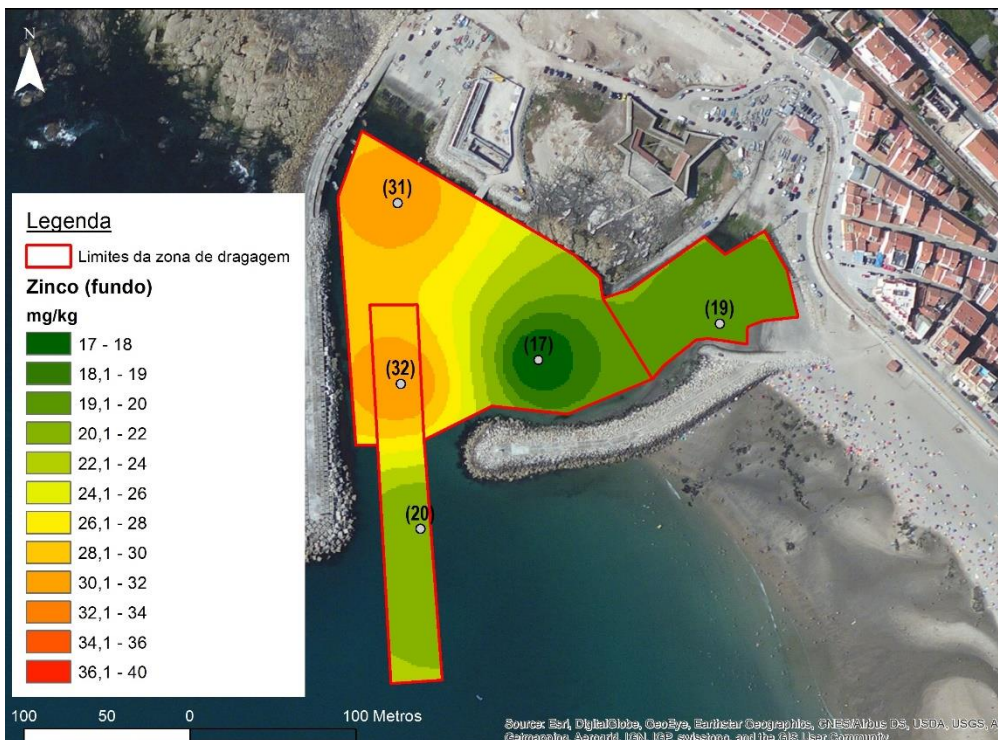


Figura 5. 18 - Distribuição dos teores em Zinco dos sedimentos da base na área do portinho de Vila Praia de Âncora – ArcMap

c) Soma dos Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos – PAH

A concentração da soma dos PAH nos materiais analisados varia entre 77 e 94 $\mu\text{g}/\text{kg}$, sendo que os picos ocorrem no canal de acesso junto à barra no topo dos sedimentos e no canal de acesso ao

portinho na base dos sedimentos. Os mapas de distribuição dos PAH estão representados nas Figuras 5.19 (topo) e 5.20 (base).

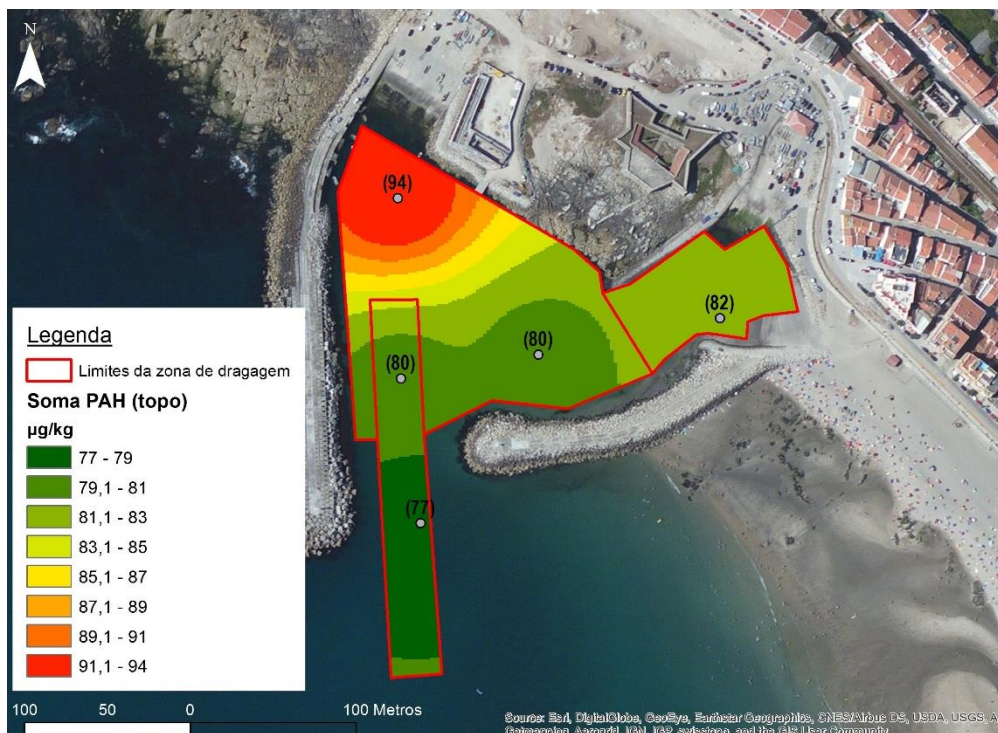


Figura 5. 19 - Distribuição da soma dos PAH nos sedimentos do topo na área do portinho de Vila Praia de Âncora – ArcMap



Figura 5. 20 - Distribuição da soma dos PAH nos sedimentos da base na área do portinho de Vila Praia de Âncora – ArcMap

O limite de classificação ambiental destes compostos orgânicos para que estes não sejam considerados dragados limpos (classe 1) são os 300 µg/kg conforme mostra a Tabela 5.6. Por isso, a

semelhança dos mapas de teores do Zinco, não se considera relevante efectuar a reclassificação do mapa para gerar um mapa de classes ambientais, visto todos os valores se encontrarem na classe 1.

Tabela 5. 6 - Classificação ambiental dos materiais quanto ao seu teor em PAHs (adaptado de Anexo III da Portaria n.º1450/2007 de 12 de Novembro)

Parâmetro (µg/kg)	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
PAH (total)	< 300	300 - 2000	2000 - 6000	6000 – 20.000	> 20.000

5.4 ANÁLISE DO DESTINO DOS DRAGADOS

Tendo em conta os resultados obtidos na secção anterior, constata-se que as dragagens em Vila Praia de Âncora produziram cerca de 43.000 m³ de materiais, que são essencialmente areias, dos quais cerca de 6000 m³ são de classe 2 devido ao seu teor em Arsénio, assumindo que toda a Zona -2A está contaminada e será dragada à parte. Sendo assim possui-se:

- 37.000 m³ de areias limpas – Classe 1;
- 6000 m³ de areias com contaminação vestigial – Classe 2.

Outro dado relevante obtido dos resultados é o facto de as areias possuírem uma fracção média a grosseira.

O destino real dado aos dragados foi, segundo a DGRM (2015), a deriva litoral, tanto nos materiais arenosos de classe 1 como de classe 2. Deste modo servem para reforço do cordão litoral, sendo imersos entre as cotas -2m (ZH) e -5m (ZH).

Considera-se de interesse sugerir outros destinos possíveis a dar aos dragados deste caso de estudo. Tendo em conta o resumo científico anteriormente apresentado e os possíveis destinos a dar aos dragados, excluem-se *a priori* a sua deposição em CDF's e o seu tratamento, visto o seu grau de contaminação não ser elevado nem a sua qualidade/ quantidade justificar tais investimentos. Sendo assim pode dirigir-se o foco à sua reutilização.

Estes materiais podem ser reutilizados em duas áreas distintas: na protecção costeira e na construção. No sector da protecção costeira podem servir para alimentação de praias ou para depósitos em cursos de água. Na área da construção podem ser usados no fabrico de agregados, na recuperação de terrenos ou empregues como materiais de construção.

A reutilização dos materiais na protecção costeira considera-se devido ao facto de se tratarem de materiais arenosos, que são normalmente os constituintes das praias ou até mesmo os presentes em derivas litorais. Esta possibilidade vai ao encontro dos destinos dados anteriormente aos dragados deste portinho – caso de 2012, 2013 e 2014 – conforme descrito na Tabela 4.2 da secção 4.2. O facto de existirem alguns materiais de classe 2 não constitui um impedimento porque estes vão ser depositados em meio aquático, respeitando a legislação para dragados com contaminação vestigial.

Na área da construção, considera-se a reutilização destes dragados em grande parte devido à sua constituição arenosa, que é uma das mais requisitadas aquando da recuperação de terrenos que visem futuramente a construção. A sua utilização como agregados ou materiais de construção pode também ser considerada, devido à necessidade deste tipo de materiais em obras de construção.

Salienta-se que quaisquer dos destinos acima mencionados precisariam de ser analisados individualmente e mediante a necessidade de realizar este tipo de intervenções nas proximidades da área dragada. A distância de transporte é um factor de peso nos custos de um projecto e pode comprometer a sua viabilidade.

Destaca-se ainda que a reutilização dos dragados na área da construção está inerente à sua comercialização, algo que actualmente em Portugal não é permitido.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTA DE INVESTIGAÇÕES FUTURAS

6.1 CONCLUSÕES

A presente dissertação teve como principais objectivos a síntese de conhecimentos acerca dos aspectos de cariz geotécnico e geoambiental que envolvem a gestão dos dragados, assim como a aplicação de um sistema de informação geográfica como método de análise e caracterização dos dragados. O SIG foi aplicado ao caso de estudo das dragagens de manutenção do Portinho de Vila Praia de Âncora.

Primeiramente, de modo a perceber as bases da gestão dos dragados, adquiriram-se conhecimentos acerca da operação que os gera – as dragagens. É importante conhecer as suas finalidades e os tipos de trabalhos em que intervêm, assim como os equipamentos que utilizam. Nestes últimos devem considerar-se as suas especificações e casos ou materiais a que faz sentido aplicá-los, comparando-os entre si de modo a escolher o que pode proporcionar melhores resultados, balanceando a produtividade com os custos associados às operações.

De seguida e ainda antes da entrada no tema principal da dissertação, estudaram-se os efeitos das dragagens nos ambientes e nos ecossistemas. Algo que deve preceder o estudo dos dragados para entender de que modo estes podem afectar o que os rodeia.

A gestão de dragados é composta por aspectos de índole geotécnica, de índole ambiental e aqueles cuja geotecnia se liga ao ambiente – os aspectos geoambientais. Os aspectos geotécnicos dizem principalmente respeito à forma como são estudados os materiais antes da dragagem ocorrer e à sua caracterização em termos físicos e mecânicos, que afectam directamente o destino que lhes vai ser atribuído. Os aspectos geoambientais estão associados não só à caracterização química e biológica dos dragados como também ao seu enquadramento legal, impondo limites ao que possa ser a sua reutilização ou deposição futura. Estes dois tipos de aspectos aliados a uma política de gestão ponderada e sustentável definem o que pode ou não ser feito com os dragados.

Visando aplicar os conhecimentos adquiridos sobre a temática desta dissertação, aplicou-se os SIG à caracterização das áreas de dragagem. No caso de estudo, explorou-se os SIG para caracterizar os dragados, quer em parâmetros quantitativos, quer em parâmetros qualitativos. Os dados provenientes do projecto, nomeadamente os resultados dos ensaios às amostras, condicionaram a abordagem escolhida, originando uma metodologia menos variada do que o planeado inicialmente.

Na análise quantitativa, as ferramentas utilizadas consideram-se produtivas do ponto de vista dos resultados obtidos. Os volumes de dragagem totais determinados foram de ordem de grandeza semelhante aos obtidos em anos anteriores em que o período entre dragagens foi o mesmo. Em termos parciais, isto é, por zona de dragagem, os valores obtidos aparentam possuir alguma coerência em termos da relação área-volume e, quando comparados com os do projecto de execução da DGRM, revelam-se muito próximos, algo que pode ser explicado pelos métodos de determinação semelhantes e que valida que os cálculos foram efectuados de forma correcta. Ressalva-se que todos os valores

apresentados de volumes de anos anteriores contêm neles o volume dragado dos taludes e que, nos resultados obtidos neste estudo, esses valores não estão incluídos. Numa análise comparativa precisa, os valores dragados dos taludes deveriam ser subtraídos aos totais de cada ano, mas tal não foi possível devido à informação fornecida apenas contemplar o total dragado anualmente.

Na análise qualitativa há que salientar dois aspectos: a quantidade de amostras ser reduzida – cinco pontos de amostragem são suficientes para um projecto de dragagens desta dimensão de acordo com o que se pretende obter previamente, mas para um estudo em SIG condiciona muito as ferramentas a usar, como tal descartou-se uma análise geoestatística não só devido ao número, como também à fraca correlação entre as amostras; e a pouca variabilidade físico-química das amostras – os materiais analisados são areias com quantidades desprezáveis de finos e a contaminação química presente é praticamente nula, sendo apenas considerada vestigial num local, factores que fazem com que, por um lado, exista maior certeza nos resultados obtidos, mas que por outro limitam as conclusões tiradas. Os resultados obtidos nesta análise consideraram-se produtivos tendo em conta que:

- Identificou-se um padrão de acumulação de sedimentos com teores mais elevados de contaminantes – junto à rampa de acesso ao cais – algo que pode ser justificado com a presença de fracções mais finas no local e com a possibilidade desses sedimentos serem antigos e ali permanecerem sempre que se efectua a dragagem, pois estão a profundidades superiores à de dragagem. Esta última possibilidade assenta principalmente no facto da rampa já existir antes da construção do portinho e lá poder ter existido deposição descontrolada de materiais provenientes dos barcos de pesca.
- Foi possível delinear uma fronteira entre os materiais limpos e com contaminação vestigial, de modo a definir que zonas podem ser dragadas conjuntamente e às quais possa ser atribuído um destino comum, assim como estimados quais os volumes de materiais de classe 1 e classe 2 – interagindo a análise quantitativa com a qualitativa;
- Foi possível determinar com algum pormenor as fracções arenosas dos materiais, resultando numa tendência geral para areias grossas a médias – algo que pode ser útil caso a reutilização das areias pressuponha separação granulométrica, pois providencia uma informação *a priori* a esse tipo de trabalhos.

Salienta-se, no entanto, que o método utilizado para interpolação – Inverso do quadrado das distâncias (*IDW*) – possui algumas limitações tendo em conta o número de amostras, pelo que os resultados obtidos podem não ser o mais exactos possíveis e admite-se que exista um erro considerável, o que de algum modo tira certeza às conclusões tiradas. Todavia, este método revelou-se o mais apropriado tendo em conta o estudo que se pretendia realizar e os recursos que foram providenciados.

De um modo geral, este estudo mostra que a aplicação das SIG à caracterização e gestão dos dragados pode ser considerada muito útil, embora se considere que para obter resultados com uma maior certeza se deva aprofundar a amostragem nos locais estudados. Só assim se conseguiria um pleno entre métodos e resultados obtidos.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Os trabalhos futuros que possam ser desenvolvidos nesta área passam principalmente pela aplicação dos SIG numa perspectiva global a nível nacional. A criação de bases de dados com toda a costa portuguesa indicando quais os locais em que se pode ou não depositar dragados e, dentro desses, quais os que mais necessitam dessa deposição (combatendo a erosão costeira excessiva) seria um projecto ambicioso e que poderia ser útil na gestão dos dragados.

Outra sugestão que se considera interessante é o alcançar de um acordo entre as entidades que executam as dragagens e as que as fiscalizam, de modo a proporcionar algum enquadramento ambiental legal e ponderado, em que os dragados pudessem ser mais frequentemente e amplamente reutilizados. Após este acordo seria possível, por exemplo, a listagem de obras de construção por distrito, em que pudessem ser empregues os materiais dragados das zonas de proximidade. Estes processos de cooperação poderiam trazer benefícios a ambas as partes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcobia, S., & Bettencourt, P. (2008). Dragagens e avaliação de contaminação de sedimentos. 3ª Conferência Nacional de Avaliação de Impactes.
- ASTM D2487-11. (2011) *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Bray, R. N. (Ed.). (2008). *Environmental Aspects of Dredging*. Leiden (Holanda): Taylor & Francis Group.
- Bray, R. N., & Cohen, M. (Eds.). (2010). *Dredging for development* (6th ed.). Haia (Holanda): International Association of Dredging Companies - IADC, International Association of Ports and Harbors - IAPH.
- Bray, R. N., Bates, A. D., & Land, J. M. (1997). *Dredging: A handbook for engineers* (2nd ed.). Oxford (Reino Unido): Butterworth-Heinemann.
- Brito, M. G. (2011). *Introdução aos sistemas de representação geológica e geográfica*. In *Sistemas de Representação Geológica e Geográfica* (pp. 1–14). FCT-UNL.
- Canelas, J. (2016), Informação escrita. DGRM, Lisboa.
- Canelas, L. M. da F. (2012). *Sistemas De Informação Geográfica No Apoio Às Dragagens Portuárias*, 101. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica – Tecnologias e Aplicações. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- Carneiro, E. & Pinto, J. B. (2011). *A importância dos SIG's na compreensão do fenómeno das dragagens no Porto de Setúbal, os novos desafios para uma gestão integrada e sustentável das dragagens em portos estuarinos*. Administração dos Portos de Setúbal e Sesimbra. 7as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. Porto, Outubro 2011
- CIRIA (2012) *Rock Manual* Publicación C683, Capítulo 4.4 “Geotechnical Investigations and data collection” pp 448 – 468
- Deibel, I.K. *et al.* (1996). *Nine years experience in filling a large disposal site with dredged material*. Proceedings CATS III Congress. Oostende, Belgium. pp. 219-231
- Detzner, H.–D. & Knies, R. (2004). *Treatment and beneficial use of dredged sediments from Port of Hamburg*. Proceedings of th 17th World Dredging Congress. Hamburg, Germany. 27 September – 1 October 2004
- DGRM (2015a). *Empreitada de execução de dragagens de manutenção no Portinho de Vila Praia de Âncora*. Volume 2 – Caderno de Encargos. Tomo I. Parte B – Clausulas Técnicas. Agosto 2015
- DGRM (2015b). *Empreitada de execução de dragagens de manutenção no Portinho de Vila Praia de Âncora*. Volume 2 – Caderno de Encargos. Tomo II. Parte A – Projecto de Execução. Agosto 2015
- DGRM (2015c). *Batimetria, áreas a dragar e infraestruturas adjacentes ao portinho de Vila Praia de Âncora*. Ficheiro de Auto CAD Agosto 2015
- DGRM (2015d) *Recolha e Caracterização de Amostras de Sedimentos do Porto de Vila Praia de Âncora*. Relatório de Monitorização Ambiental – Xavisub/DGRM. Maio 2015
- Dias, E., Garção, R., Santos-ferreira, A., & Estevão, A. (2012). Operações de dragagem no porto de Esposende : necessidades portuárias e ambientais, (1), 345–348. Lisboa

- Dias, E., Santos-Ferreira, A., Carneiro, E., & Silva, A. P. F. (2011). Planeamento e Gestão de Dragagens no Estuário do Ave: Geoprocessamento automático considerando a distribuição de contaminantes. In *VI Congresso Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa* (p. 13). Ilha da Boa Vista, Cabo Verde
- Dias, M. E. F. (2005). *Utilização de um sistema de Informação Geográfica na caracterização de áreas de dragagem*. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa.
- Escalante, R. S. (2015). *Ingeniería de Dragado*. Buenos Aires.
- Flanders Marine Institute – Disponível em: <http://www.vliz.be>. Consultado em: Março 2016.
- GOOGLE EARTH (2006). Image Landsat. Explore the Earth on Google. Disponível em: <https://earth.google.com>. Consultado em: Março 2016
- IPTM (2010a). *Planos plurianuais de dragagens portuárias 2011 – 2015*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).Relatório não publicado, Lisboa, Novembro
- IPTM (2010b). *Avaliação ambiental dos planos plurianuais de dragagens portuárias 2011 – 2015*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).Relatório não publicado, Lisboa, Novembro
- Johnson, Kyle D. (2005) *Geotechnical investigations for dredging projects*. Proceedings of the Western Dredging Association (WEDA)
- LC-72 (1996). *Dredged Material Assessment Framework*. LC2./Circ.368.28 Fevereiro 1996
- Ministerio de Fomento y Puertos del Estado de España. (2005). *ROM 0.5-05 - Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias*. Madrid, Novembro
- Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. (2005). Decreto de Lei nº197/2005 de 8 de Novembro. *Diário Da República, 8 de Novembro de 2005*.
- Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. (2006). Portaria n.º 1450/2007 de 12 de Novembro. *Diário Da República, 5 de Setembro de 2006*.
- Mink, F. J. (2012). Dredged material - Rules , Regulations and Practice. *Workshop Piombino*, 1–28.
- Muñoz, M. D. M. (2011). *Geotecnia portuaria y dragados. caso de estudio: puerto de nazaré, portugal*. Estudo de Investigação Geotécnica. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- OSPAR (1998). *OSPAR Guidelines for the management os dredged material*. OSPAR 98/14/1-E. Annex 43
- PIANC (1984). *Classification of Soils to be Dredged*. Report of a Working Group of PTC II, International Navigation Association. Brussels, Belgium.
- PIANC (1991). *Guidance on facility and management specification for marine yacht harbours and inland waterway marinas with respect to user requirements*. Report of Working Group 5 of the Comission for Sport and Pleasure Navigation. Supplement to Bulletin No.75, PIANC
- PIANC (1992). *Beneficial Uses of Dredged Material*. Report of Working Group 19, Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC), Brussels, Belgium

- PIANC (2014). *Classification of Soils and Rocks for the Maritime Dredging Process*. Report N° 144 – 2014 Capítulo 2: Site investigation pp 9 – 19
- PIANC EnviCom (2006). *Biological Assessment of Dredging and Disposal Operations*. Report of Working Group 8 of the Environment Commission. International Navigation Association. Brussels, Belgium.
- PIANC EnviCom (2008). *Dredged Material as a resource*. Report of Working Group 11 of the Environment Commission. International Navigation Association. Brussels, Belgium.
- Portela, L. I. (2011). *Dragagens nos portos comerciais de Portugal continental: Dados preliminares*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). 7as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. Porto, Outubro 2011
- Puertos del Estado y Ministerio de Fomento (2008). *Guía de Buenas Prácticas en la Ejecución de Obras Marítimas*. Julho
- Rankilor P.R., (1994). *Technical manual for the design of UTF geosynthetics into civil and marine engineering projects*. UCO Technical Fabrics NV. Lokeren, Belgium
- Ranz, I. G. (2011). *Geotecnia Portuaria e Impacto Geoambiental: Estudio del caso del Puerto de Portimão, Portugal*. Proyecto para la obtención del título en Ingeniería Geológica en la Universidad Complutense de Madrid. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Rijkswaterstaat (2004). *Building with dredged material, daily practice!* The Hague, The Netherlands
- Rosa, T. L., Barata, a., Cabaço, J. G., & Teles, M. (2012). *Intervenções de Dragagem na Barra de Aveiro (Portugal) e de Protecção da Zona Costeira a Sul*. Revista Da Gestão Costeira Integrada, 12(1), 57–75. <http://doi.org/10.5894/rgci286>
- Santos-Ferreira, A., Dias, E., da Silva, P. F., Santos, C., & Cabral, M. (2015a). Dredging of Vila do Conde harbor, Portugal - Contamination of sediments. *Procedia Engineering*, 116(Apac), 939–946.
- Santos-Ferreira, A., Dias, E., Trigo-Teixeira, A., & Silva, A. P. (2011b). Análise Morfodinâmica por geoprocessamento automático: Aplicação ao planeamento de dragagens no porto de Portimão. In *VI Congresso Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa* (p. 14).
- Santos-Ferreira, A., Leal, J., Santos, C., & Dias, E. (2011a). Aspectos Geotécnicos do prolongamento do cais de granéis sólidos do porto da Figueira da Foz. In *7as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Porto, 6 e 7 de Outubro de 2011* (p. 13).
- Santos-Ferreira, A., Santos, C., & Cabral, M. (2015b). Local hydrodynamics and the siltation of Vila Praia de Âncora. *Procedia Engineering*, 116(Apac), 932–938.
- Santos-Ferreira, A., Silva, A. P. & Dias, E. (2014). Harbour Geotechnics: the Case of the Portuguese Small Harbours. Application of Nanotechnology in Pavements, Geological Disasters, and Foundation Settlement Control Technology GSP 244, ASCE 2014
- Sanz Bermejo, C. (2001) *Manual de equipos de dragado*. Ed. Carlos López Jimeno. Madrid, Espanha
- Silva, A. P., Rodrigues, A., & Pombo, J. (2015). Estudo geológico e geotécnico para estruturas de produção da energia das ondas em offshore. *L. Zuquette, Geotecnia Ambiental*, 6, 149–176.

Silva, A. P., Santos-Ferreira, A., & Dias, E. (2010). Análise multitemporal e morfodinâmica no estuário do Arade com geoprocessamento automático. *1as Jornadas de Engenharia Hidrográfica Instituto Hidrográfico*, 21–22.

U.S. Army Corps of Engineers. (2015). *Dredging and Dredged Material Management*.

Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Caminha>. Consultado em: Março 2016.

