



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA



Contributos para a otimização de metodologias de desmonte em canais e portos: o caso do Porto de Leixões

José Henrique Nogueira da Silva



isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

P. PORTO

2018

(página propositadamente em branco)



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Contributos para a otimização de metodologias de desmonte em canais e portos: o caso do Porto de Leixões

Contributions for the optimization of blasting methodologies in canals and ports: the case of the Port of Leixões

José Henrique Nogueira da Silva

1120511

*Estágio apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizada sob a orientação do Doutor Hugo Guedes Lopes, Professor Adjunto Convidado do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP e coorientação do Doutor Helder I. Chaminé, Professor Coordenador com Agregação do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

Júri

Presidente

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé

Professor Coordenador com Agregação, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor Hugo Guedes Lopes

Professor Adjunto Convidado, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor Tiago André Martins de Azevedo Abreu

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto

(página propositadamente em branco)

*A tese de **mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (MEGG)** foi apresentada e defendida em prova pública, pelo licenciado **José Henrique Nogueira da Silva**, no Auditório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Geotécnica (ISEP) em 19 de Novembro de 2018 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **16 (dezasseis) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.*

*“No momento em que passamos da independência para a interdependência, passamos para um papel de liderança”
Stephen Covey*

(página propositadamente em branco)

Agradecimentos

Ao meu orientador Doutor Hugo Guedes Lopes (APDL e DEG|ISEP) pela disponibilidade na orientação da dissertação e supervisão do estágio na APDL; pela facilidade e abertura para esclarecimento de dúvidas e visitas ao local de estudo, pela integração do estágio na Direção de Obras e Equipamentos da APDL, bem como por todos os ensinamentos transmitidos de engenharia costeira e hidráulica marítima e portuária.

Ao meu coorientador Professor Helder I. Chaminé (DEG|ISEP e LABCARGA) por ao longo deste percurso académico ter incentivado à melhoria das minhas capacidades técnico-científicas e interpessoais, bem como pela discussão dos aspectos geológico-geotécnicos no contexto da engenharia portuária e partilha de bibliografia de geotecnia portuária e costeira.

À APDL (Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, SA) na pessoa do Engenheiro Pedro Tato, Chefe da Divisão de Obras da Direção de Obras e Equipamentos, pela oportunidade que me foi concedida, realçando a total disponibilidade de todos os profissionais para apoiarem e esclarecerem todas as dúvidas existentes.

À Dr^a Liliana Freitas (LABCARGA|ISEP) pelo apoio na vectorização de algumas figuras desta dissertação, realçando o excelente trabalho no melhoramento da qualidade de algumas figuras mais antigas.

À minha família por me terem dado a oportunidade de estudar e de valorizar a minha carreira, bem como por todos os momentos que se prolongam ano após ano.

À Mestre Ana Filipa Ferreira por o excelente contributo diário para que continue a evoluir como pessoa e profissional.

A todos os meus colegas de Curso, em especial aos do meu ano de entrada, por todos os momentos que continuarão a marcar as nossas vivências.

Muito Obrigado!

(página propositadamente em branco)

Palavras-chave

Otimização, desmonte, geotecnia portuária, Porto de Leixões.

Resumo

As infraestruturas portuárias estão a enfrentar desafios diários em resposta ao crescimento exponencial do número de navios que circulam mundialmente, às suas respetivas dimensões bem como à quantidade e variedade de carga transportada. De forma a adequar o Porto de Leixões a esta realidade esta dissertação pretende contribuir para a otimização das metodologias de desmonte do maciço rochoso. Esta otimização numa primeira fase necessita de uma caracterização dos maciços rochosos existente, dividindo toda a área a intervencionar em áreas de menores dimensão e de maior especificidade, com base no grau de alteração e o grau de fracturação. Também se caracterizam os tipos de sedimentos e respetiva espessura de acordo com a interpretação de uma campanha de prospeção geofísica. Sendo atualmente uma das principais preocupações na fase de projeto, a redução dos custos, deu-se ênfase à conciliação da normal atividade portuária, com a duração e o ritmo das intervenções, sem esquecer a preocupações ambientais e sociais inerentes. A utilização do Estudo do Impacte Ambiental das Acessibilidades Marítimas do Porto de Leixões, os relatórios das sondagens e os dados das intervenções anteriormente realizadas, são um fator chave para determinar quais os principais pontos a otimizar em futuras intervenções. Assim, o processo de otimização encontra-se relacionado com a melhoria de toda a atividade do Porto de Leixões, bem como o bem-estar das comunidades envolventes.

(página propositadamente em branco)

Keywords

Optimization, blasting, harbour geotechnics, Port of Leixões.

Abstract

Port infrastructures are facing daily challenges in response to the exponential growth in the number of ships traveling worldwide, their size as well as the quantity and variety of cargo transported. In order to adapt the Port of Leixões to this reality this dissertation intends to contribute to the optimization of the methodologies of blasting of the rock masses. This optimization in the first stage requires a characterization of the existing rock masses, dividing the whole area to be intervened in areas of smaller size and of greater specificity, based on the weathering grade and the degree of fracturing. Also, the types of sediments and their thickness are characterized according to the interpretation of a campaign of exploration geophysics. At present, one of the main concerns in the project stage, the reduction of costs, has emphasized the conciliation of normal port activity, with the duration and pace of the interventions, not forgetting the inherent environmental and social concerns. The use of the Environmental Impact Study of Leixões Port Accessibility, the drilling reports and the data from previous interventions, are a key factor in determining the main points to be optimized in future interventions. Thus, the optimization process is related to the improvement of all the activity of the Port of Leixões, as well as the well-being of the surrounding communities.

(página propositadamente em branco)

Índice

1.	Introdução.....	3
2.	Enquadramento	7
2.1.	Evolução do Transporte e das Infraestruturas Marítimas	7
3.	Estado da Arte – Desmonte com Recurso a Explosivos	15
3.1.	Conhecimento do Maciço	15
3.2.	Dimensionamento do Desmonte	16
3.3.	Ondas de Tensão	21
3.4.	As Ondas de Choque	22
3.5.	Vibrações.....	23
3.6.	Explosivos	26
3.7.	Segurança.....	28
3.8.	Impactes Ambientais.....	29
3.9.	Minimização dos Impactos.....	30
3.10.	Desmonte Subaquático	31
3.11.	Estratégia para as infraestruturas marítimas.....	32
4.	O Caso do Porto de Leixões.....	35
4.1.	Intervenções Anteriores Relevantes	35
4.2.	Planeamento e Otimização do Desmonte do Canal de Acesso e Bacia de Rotação	35
4.2.1.	Caracterização e Avaliação do Maciço Rochoso	36
4.2.2.	Avaliação dos Sedimentos.....	40
4.2.3.	Identificação das Áreas	40
4.2.4.	Sondagens	43
4.2.5.	Caracterização das Áreas	45
4.2.6.	Dragagem Inicial/Final.....	63
4.2.7.	Desmonte Tipo	64
4.2.8.	Diâmetro Furação.....	65
4.2.9.	Sobrefuração	66
4.2.10.	Carga Específica.....	66
4.2.10.1.	Concentração de Carga por Tipo de Draga	67
4.2.10.2.	Carga específica por Tipo de Maciço.....	67
4.3.	Planeamento do Desmonte.....	68
4.3.1.	Condicionamentos do Tráfego	68
4.3.2.	Turnos Diários	70
4.3.3.	Condicionamentos Ambientais	71
4.4.	Controlo das Vibrações – Identificação das Estruturas.....	71
5.	Conclusões	77
6.	Referências Bibliográficas	83
7.	Anexos.....	89

(página propositadamente em branco)

Índice de Figuras

Figura 1 - “The Westline” – Linha imaginária representativa dos 5000 anos da evolução dos principais centros de comércio marítimo mundial (Adaptado de Stopford, 1997).	7
Figura 2 – Mapa de densidade das rotas percorridas por todos os navios no Espaço Marítimo Europeu, durante o ano de 2017 (Marine Traffic, 2017).	9
Figura 3 – <i>Mapa de densidade das rotas percorridas por todos os navios no Espaço Marítimo Português, durante o ano de 2017 (Marine Traffic, 2017).</i>	11
Figura 4 – Cilindro de Comoção (Gomes et al., 2007).	18
Figura 5 – Esquematização das ondas de tensão (Adaptado de Bernardo, 2004).	21
Figura 6 – Reflexão e refração numa interface (Kolsky, 1963).	22
Figura 7 – Vista aérea do Porto de Leixões. Fonte: João Ferrand – Fotografia; Lda (2014).	36
Figura 8 – Enquadramento do Porto de Leixões na Carta Geológica (adaptado de Pereira, 1992; Afonso, 2011).	37
Figura 9 – Campanha de Prospeção Geofísica (APDL-EIA, 2018).	40
Figura 10 – Área da superfície do projeto e respetivas cotas finas de escavação.	41
Figura 11 – Localização das diferentes áreas estudadas.	42
Figura 12 – Localização das sondagens selecionadas.	44
Figura 13 – Localização do Posto A.	48
Figura 14 – Localização do Posto B.	50
Figura 15 – Localização do Posto C.	52
Figura 16 – Localização da Bacia de Rotação.	54
Figura 17 – Localização do Terminal Multiusos.	56
Figura 18 – Localização do Terminal de Cruzeiros.	58
Figura 19 – Localização da Entrada do Quebra-Mar.	60
Figura 20 – Localização da Entrada do Canal Interior.	62
Figura 21 – Plataforma de furação (https://boskalis.com/about-us/boskalisrockfall.html).	64
Figura 22 - Diferentes zonas de tráfego durante o período das operações de rebaixamento.	69
Figura 23 – <i>Gráfico do débito de ar comprimido em função do tipo de proteção (Adaptado de Hermans, 2005).</i>	72

(página propositadamente em branco)

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Fatores que influenciam as vibrações do terreno em desmontes subaquáticos (Adaptado de Pereira, 2001).	24
Tabela 2 – Geometria do desmonte tipo da intervenção efetuada em 2007.....	35
Tabela 3 – Caracterização do maciço rochoso por áreas.....	38
Tabela 4 – Tabela síntese da caracterização do maciço rochoso.....	39
Tabela 5 – Classificação do Grau de Alteração (ISRM, 1981).....	39
Tabela 6 – Classificação do Estado de Fracturação (ISRM, 1981).	39
Tabela 7 – Coordenadas, área associada e cota atingida de cada sondagem.	45
Tabela 8 – Características do maciço rochoso em cada sondagem.	45
Tabela 9 – Características das áreas estudadas.	46
Tabela 10 – Tabela síntese das características de cada área.	47
Tabela 11 - Características do Posto A.	48
Tabela 12 - Características do Posto B.	50
Tabela 13 – Características do Posto C.	52
Tabela 14 – Características da Bacia de Rotação.	54
Tabela 15 – Características do Terminal Multiusos.	56
Tabela 16 – Características do Terminal de Cruzeiros.	58
Tabela 17 – Características da Entrada do Quebra-Mar.	60
Tabela 18 – Características da Entrada do Canal Interior.	62
Tabela 19 – Tipo de material a dragar e respetivas quantidades (Consulmar 2017b).	63
Tabela 20 – Relação entre o diâmetro de perfuração com a altura da bancada (Jimeno, 1987). ...	65
Tabela 21 – Relação da altura de bancada com o diâmetro de furação.....	65
Tabela 22 – Altura total do furo.	66
Tabela 23 – Concentração de carga específica com recurso a dragagem com escavadora.	67
Tabela 24 – Valores limite recomendados para a velocidade de vibração (de pico), em mm/s (NP2074/2015).	72

(página propositadamente em branco)

Índice de acrónimos

AECI – African Explosives and Chemical Industries

APDL – Administração do Porto do Douro, Leixões e Viana do Castelo

BMA – Billiton Mitsubishi Association

CNUCD - Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento

DGPM – Direção Geral de Política do Mar

DIA – Declaração de Impacte Ambiental

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

ENM – Estratégia Nacional para o Mar

FAMRT – Federal Agency of Maritime and River Transportation – Russia Federation

IADC – International Association of Drilling Contractors

IGME – Instituto Geológico y Minero de España

ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

ISRM – International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering

NTC – National Transport Commission – Australia

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

RNT – Relatório Não-Técnico

TEU – Twenty-foot Equivalent Unit

TPL – Terminal Petrolero de Leixões

TPR – Departamento de Transporte e Economia Regional da Universidade de Antuérpia

UE – União Europeia

WEDA – Western Dredging Association

ZHL – Zero Hidrográfico de Leixões

(página propositadamente em branco)

1 - Introdução

(página propositadamente em branco)

1. Introdução

O Mar como vetor estratégico para o desenvolvimento de Portugal é um conceito profundamente estudado e com excelentes resultados, confirmados por uma história riquíssima como são os casos dos feitos dos portugueses no mundo (ENM, 2013). Esta dinâmica vem realçar a importância que o mar adquire na política nacional, sendo sempre a solução para resolver os períodos económicos conturbados da história portuguesa. Assim, o desenvolvimento das indústrias e das infraestruturas relacionadas com o mar, é parte integrante do pensamento estratégico nacional (ENM, 2013). Com este mote, surge a otimização de todas as intervenções executadas nas infraestruturas portuárias, permitindo reduzir meios e custos que inevitavelmente ficam disponíveis para serem alocados noutras intervenções.

Para otimizar os projetos futuros da Administração do Porto do Douro, Leixões e Viana do Castelo surge o estágio, no âmbito da unidade curricular de “Dissertação/Estágio/Projeto” do segundo ano do curso de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). A presente dissertação (Estágio) vem validar os conceitos aprendidos durante o período de estágio profissional. A complementaridade da dissertação ao estágio realça a importância da otimização do desmonte com recurso a explosivos nas obras de rebaixamento a executar no Porto de Leixões. Deste modo, interrelaciona-se a necessidade das empresas em otimizar projeto, com os novos conhecimentos lecionados nos estabelecimentos de ensino, local indicado para debater e testar novos conhecimentos.

Esta dissertação tem como principais objetivos comprovar a importância da otimização do desmonte com recurso a explosivos na obra de rebaixamento do maciço rochoso em canais e portos, bem como explorar o tema na realidade nacional e ser o propulsor para novas investigações a nível nacional.

2 - Enquadramento

(página propositadamente em branco)

2. Enquadramento

2.1. Evolução do Transporte e das Infraestruturas Marítimas

Quando se discute sobre transporte marítimo é necessário encarar o tema como uma necessidade comercial em que todas as atividades adjacentes se vão ajustando de acordo com o grau de desenvolvimento do país/região ou até mesmo de acordo com a sua situação económica atual. De acordo com Stopford (1997), a evolução do transporte é explicada através de uma linha imaginária (figura 1), que surge em pleno mar Mediterrâneo e vai seguindo até ao sudeste asiático, acompanhando a evolução das grandes potências do comércio marítimo. Esta linha inicia nos territórios atuais do Líbano (Fase 1), correspondente aos primeiros registos históricos, passa por Portugal durante a Era dos Descobrimentos (Fase 2), passa também pelos Estados Unidos da América com o aparecimento deste país como grande potência mundial (Fase 3) e finalizam na China (Fase 4), onde atualmente se verifica um enorme crescimento desta atividade (Fonseca, 2008).

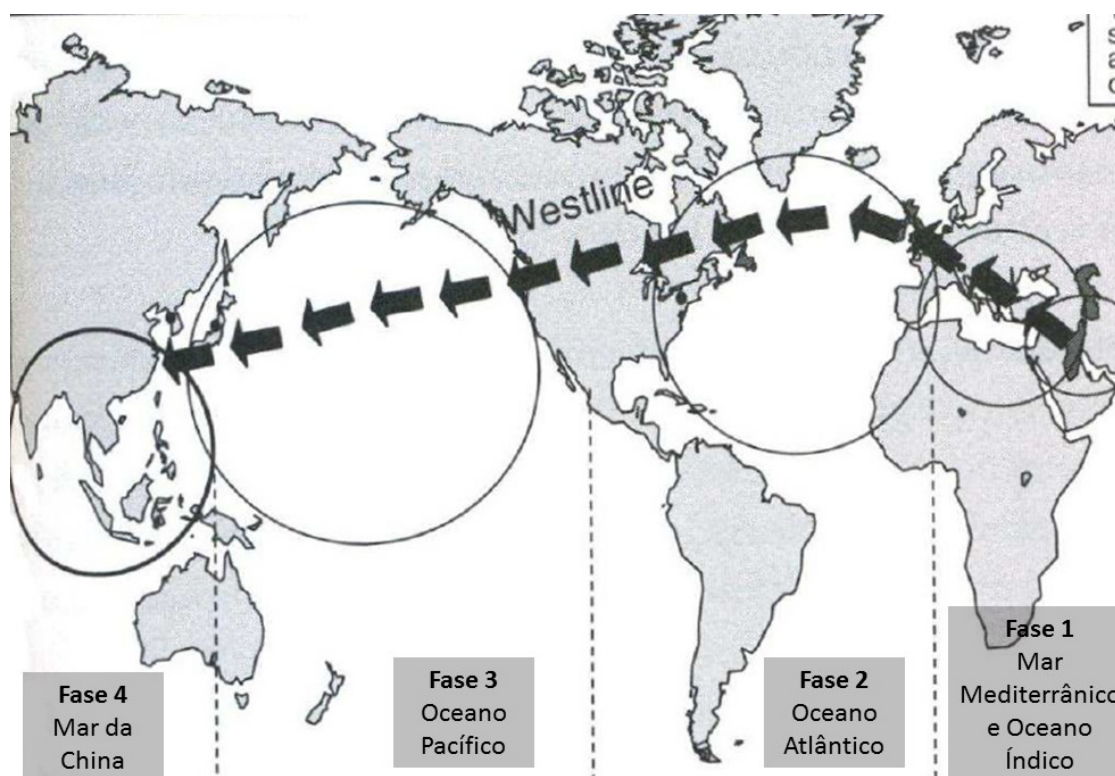


Figura 1 - “The Westline” – Linha imaginária representativa dos 5000 anos da evolução dos principais centros de comércio marítimo mundial (Adaptado de Stopford, 1997).

Em virtude de existir um registo sem precedentes de uma rápida evolução da globalização que afeta o sector marítimo, a União Europeia identificou que em 2009 a quantidade de mercadorias transportadas por via marítima correspondia a 80% de toda a mercadoria movimentada a nível mundial, bem como identificou que esse número tenderia a aumentar até 2018. Em 2008

registrou-se o maior volume de mercadorias transportadas, contudo tiveram uma quebra significativa logo em 2009 devido à crise económica verificada na União Europeia, que por sua vez modificou o pensamento em relação à tipologia dos navios fabricados. Após esta quebra a tendência mundial alterou-se, deixando de parte a cultura do aumento da capacidade dos navios, começando a apostar em articular os portos às tipologias de navios existentes e vice-versa. O investimento dos armadores em navios de grande envergadura acarreta às autoridades responsáveis pelos portos, um conjunto de investimentos na modernização dos equipamentos portuários, bem como no aumento da capacidade dos mesmos. O aumento da capacidade não significa por si só que as infraestruturas tenham capacidade para armazenar uma maior quantidade de mercadorias, mas sim, que consigam processar a mercadoria mais rapidamente, aumentando a quantidade de mercadoria que é processada por unidade de tempo. Surge assim a evolução dos processos logísticos. A questão ambiental também tem sido utilizada como travão na indústria naval, devido à nova legislação na área que condiciona os navios mais poluentes de circular em águas de determinados países, bem como de atracar nos respetivos portos. Resumindo a aposta do futuro será em embarcações cada vez mais evoluídas tecnologicamente, possivelmente de menores dimensões, mas com novas capacidades, que tornam os processos de transporte e as cargas/descargas mais eficientes. Esta rapidez necessita de um acompanhamento rápido da legislação de modo a evitar os vazios legais inerentes a esta velocidade da evolução (Adaptado de Comissão Europeia, 2016).

De acordo com o Departamento de Transportes e Economia Regional da Universidade da Antuérpia (TPR) em 1980 surge uma nova região no panorama do transporte marítimo, o Este da Ásia, estando previsto que passasse a ser a região mais importante a partir do ano de 2050. Contudo teve um crescimento bastante acelerado, tornando-se atualmente uma peça fundamental no crescimento económico mundial. Este crescimento deveu-se à crise mundial de 2008. Esta região é bastante diferenciadora do resto do mundo devido à sua capacidade de produção de uma vasta variedade de produtos, e também devido às taxas cobradas que são bastante reduzidas quando comparadas com outras regiões mundiais. O principal motor desta região são as trocas comerciais entre os Estados Unidos e a China. Com esta dinâmica a tendência dos navios passa pela combinação de módulos para diferentes tipos de cargas. Atualmente existem dois grandes mercados da União Europeia, o mercado dos serviços sustentáveis e o mercado de navios modulares com maiores lucros e eficácia de transporte. Assim sendo, a obrigatoriedade é o investimento nas infraestruturas portuárias dotando-as de capacidade para responder às solicitações internacionais (Adaptado de TPR, 2015).

Atualmente o transporte marítimo tende a tornar-se pouco vantajoso face a outros tipos de transporte, pois existem um conjunto de processos administrativos muito pesados que continuam

a contrariar os objetivos da União Europeia em facilitar os processos burocráticos. A nível geoestratégico, foram selecionadas cinco cidades como importantes centros estratégicos europeus, Berlim, Bruxelas, Milão, Paris e Madrid, contudo é aqui que surge a importância de Portugal para a estratégia da União Europeia, pois foram também selecionados cinco portos estratégicos a nível de entrada na Europa, e aí surgem os portos de Bremerhaven (Alemanha), Antuérpia (Bélgica), Le Havre (Norte da França), Marselha (Sul de França) e Lisboa (Portugal) (TPR, 2015). A elevada movimentação de navios é verificada através da figura 2.

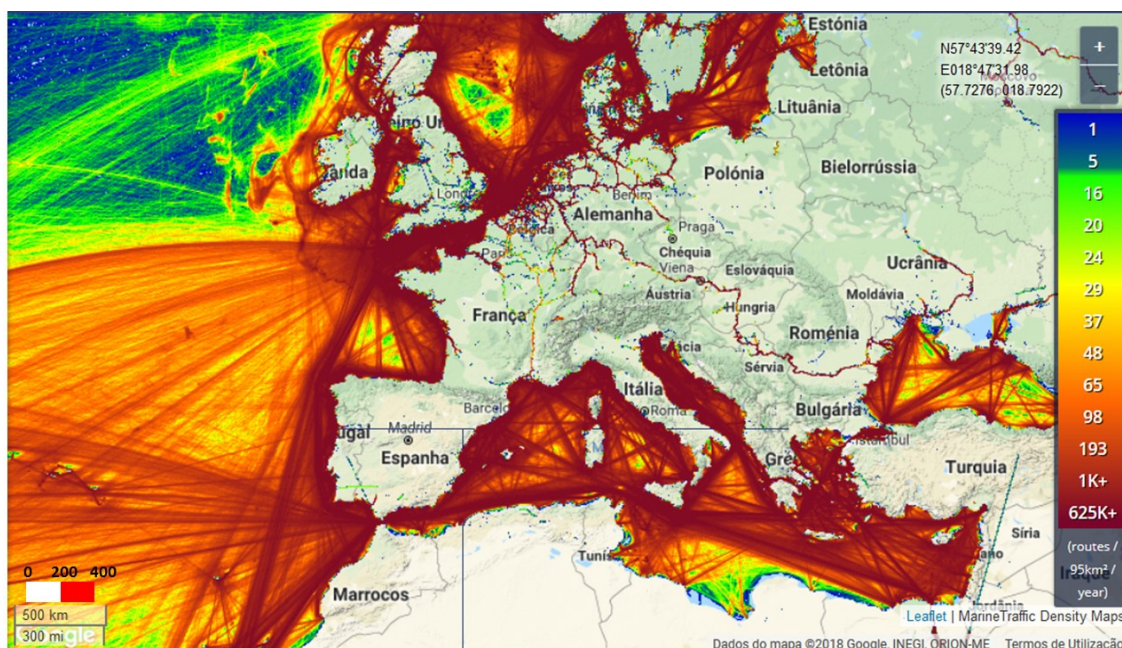


Figura 2 – Mapa de densidade das rotas percorridas por todos os navios no Espaço Marítimo Europeu, durante o ano de 2017 (Marine Traffic, 2017).

A nível de capacidade de transporte foi determinado que existem dois tipos de navios que representam a média no que respeita a porta-contentores, o navio que transporta 7 200 TEU e o de 17 000 TEU (TPR, 2015).

No passado os abrigos naturais como baías e foz de rios eram os principais pontos de comércio, contudo com o crescente aumento das necessidades das grandes sociedades iniciou-se a construção de portos artificiais e inclusive melhorou-se os abrigos naturais já existentes. É importante referir que os canais também são elos fundamentais de comunicação, principalmente no centro da Europa, quer a nível do transporte de pessoas e bens, quer a nível do turismo. Em Portugal o caso de sucesso é a via navegável do Douro. A foz do rio Leça sempre foi um porto de abrigo natural para as embarcações que circulavam na atual zona Norte de Portugal, que tinham como principal objetivo as trocas comerciais. Devido às dificuldades de entrar na Barra do Douro e aceder ao Rio Douro surge a necessidade da criação dum porto artificial (1914), que possibilitasse o abrigo das embarcações durante os períodos em que a barra estaria fechada. Porém, as potencialidades do porto artificial de abrigo e atingido o auge do desenvolvimento

industrial fomenta-se a necessidade de o transformar num porto comercial, fazendo ligação à cidade do Porto, retirando a atividade comercial do Rio Douro. Passa a ser fulminante o crescimento do Porto de Leixões, sendo o principal ponto de exportação do vinho do Porto. Existiram várias fases de alargamento do porto, mas desde a sua passagem formal a porto comercial (1913) que já estavam planeadas várias fases de prolongamento ao longo do curso do rio Leça. Nos anos sessenta surge o terminal de petroleiros que dinamiza a zona com a construção da refinaria, passando a ser uma zona com potencialidade industrial. Surge também um terminal de contentores. Após o 25 de Abril (e a era do petróleo anos 70) a atividade do porto muda por completo, termina a troca comercial colonial, e abrem-se as portas da integração europeia, surgindo a necessidade de adaptar às novas realidades e necessidades, criando-se o terminal de petroleiros e um terminal para contentores. Nos anos noventa surge a marina de recreio. Atualmente é um porto de referência nacional, sendo uma porta de entrada de mercadorias na Península Ibérica e na Europa, é o principal ponto de exportação das mercadorias da zona norte de Portugal, que tem desenvolvido o seu tecido exportador e que como nunca necessita de um porto capaz de corresponder às suas necessidades. É importante ressaltar que atualmente, sensivelmente metade da frota mundial já não pode atracar em Leixões, em virtude do porto já não ter condições para a atracação dos navios bem como não consegue processar as suas mercadorias (adaptado de Cleto, 1998).

De acordo com o relatório de contas APDL (2016) existe uma tendência de aumento dos movimentos de mercadorias na sua generalidade, estando em linha com a recuperação da atividade nacional face ao período de recessão, todos os indicadores demonstram que o transporte marítimo caminha para o seu auge. Este desenvolvimento verifica-se com o aumento da carga movimentada nos terminais de Leixões, dando ênfase à tipologia de navios *Ro-Ro*, que tem aumentado na área da União Europeia. Referir também que tem havido aumento do número de navios cruzeiros nos terminais de passageiros, muito devido ao aumento do número de turistas em Portugal. Essa tendência leva a que comecem a atracar navios com maior capacidade de transporte de passageiros, que por sua vez possuem maiores dimensões (TPR, 2015).

O aumento do número e da capacidade dos navios a nível mundial, bem como das infraestruturas relacionadas tem dinamizado a economia e espera-se que continue o rumo crescente. Assim sendo, as áreas litorais têm-se desenvolvido muito à custa destas atividades, o que aumenta os serviços relacionados com o oceano, bem como todas as oportunidades de turismo. De referir que todas as zonas onde se praticam estas atividades são zonas muito sensíveis ambiental e socialmente, pois na grande maioria estas zonas eram muito utilizadas para as atividades piscatórias. A principal característica em relação à manutenção de portos ou canais,

é a dragagem de material durante a construção, ou de forma contínua, para garantir a profundidade desejada.

Existe uma relação entre o tema em estudo e a Estratégia Nacional para o Mar (2013-2020) na questão da otimização da capacidade disponível e racionalização dos custos portuários, permitindo a redução da fatura portuária. Outro objetivo é tornar os portos competitivos com um maior potencial de atratividade para os investidores, na medida em que os torna mais sustentáveis, ordenados, seguros e eficientes, integrando-os na rede de cadeias de transporte, como suporte da economia (DGPM, 2015).

O porto de Leixões é um ponto de passagem das rotas entre a América do Sul e a América do Norte, com a Europa, bem como das rotas do Médio Oriente, da Ásia e da África com a Europa do Norte, como se pode verificar na figura 2 e na figura 3.

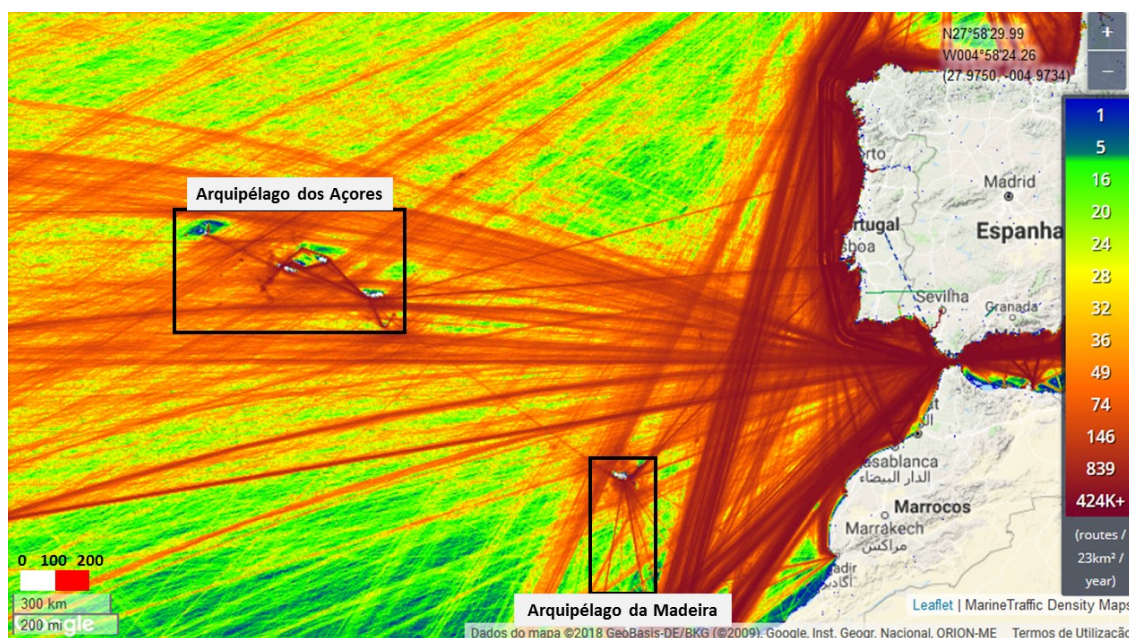


Figura 3 – Mapa de densidade das rotas percorridas por todos os navios no Espaço Marítimo Português, durante o ano de 2017 (Marine Traffic, 2017).

3 - Estado da Arte

(página propositadamente em branco)

3. Estado da Arte – Desmonte com Recurso a Explosivos

3.1. Conhecimento do Maciço

As características do maciço rochoso segundo Gustafsson *et al.* (2016) têm um impacto significativo tanto na furação como no desmonte, afetando por consequência o resultado da fragmentação.

Segundo Pereira (2001), as principais propriedades dos maciços rochosos a serem tidas em conta são a sua resistência mecânica, a velocidade de propagação característica do tipo de rocha, a densidade da rocha, as suas propriedades elásticas e a sua fracturação natural.

A estrutura diversificada das rochas resultante da sua composição mineralógica, formação e alteração pelos processos geológicos, origina diferentes propriedades segundo Gomes *et al.* (2007) que são a densidade, a resistência à compressão, a porosidade, a fricção interna, a condutividade, a composição mineralógica, a litologia, a fracturação e a presença de água. Os autores identificam que a densidade é responsável pelo aumento da concentração de carga para uma maior pressão de detonação, bem como apertar a malha de dimensionamento (menor distância à frente e espaçamento). Por sua vez, a resistência à compressão adquire a sua importância quando a intensidade da onda de choque é superior ao valor da resistência, produzindo-se o colapso da estrutura inter-cristalina da rocha, não ajudando à fragmentação e gradualmente reduz a energia da onda de choque (Gomes *et al.* 2007). Em relação à fricção interna referem que é a capacidade da rocha atenuar a onda de choque provocada pela detonação do explosivo, variando com o tipo de rocha e aumentando com o aumento da porosidade, da permeabilidade, da fissuração, do teor de humidade e do grau de alteração da rocha. A fracturação aumenta com a diminuição da fricção interna (Gomes *et al.* 2007).

A rotura da rocha por reflexão segundo Dinis da Gama (2003) está dependente das suas propriedades como são o caso da porosidade e da presença de descontinuidades (falta de coesão).

Leguizamon (2015) refere que o conhecimento do maciço está relacionado com o tipo de rocha, com as características mecânicas, as características petrofísicas como a composição textural e estrutural e propriedades hidrogeológicas.

A caracterização do maciço a desmontar e das camadas de sedimento que se encontram sobrepostas são fatores determinantes na otimização do desmonte e na redução das vibrações, sendo que ao contrário dos desmontes em ambiente terrestre, em ambiente aquático segundo a *International Association of Drilling Contractors* (IADC, 2016) é benéfico do ponto de vista

financeiro não remover essas camadas, optando por removê-las com uma só dragagem no final do desmonte, na parte do saneamento dos detritos.

3.2. Dimensionamento do Desmonte

A remoção de material com recurso a explosivos segundo Hermans (2005) é um conjunto de operações delicadas e necessárias quando a remoção do material não pode ser realizada através de dragagens, apresentando uma resistência elevada aos meios de desmonte mecânico. Os explosivos podem ser utilizados através de cargas aplicadas, cargas ocas ou cargas confinadas, realizadas a partir de um suporte à superfície. A utilização de cargas confinadas está relacionada com a utilização de uma área maior, sendo elaborado um diagrama de fogo, com um plano de perfuração pré-estabelecido (Hermans, 2005).

Antes de iniciar o dimensionamento do desmonte, Bender (1999) refere que têm de ser tidas em conta muitas variáveis, mas se esse local for um sítio onde se desenvolvam várias operações de desmonte, só é necessário verificar se nada se alterou desde a última vez em que se efetuou um desmonte. Se por outro lado for a primeira vez que se realize um desmonte naquele local, é imperativo que se identifiquem as condições específicas do local com bastante cuidado, devido ao impacto que estas podem ter no resultado final.

Na fase de dimensionamento é fundamental ter em conta que toda a documentação existente sobre a geometria do desmonte resultou da análise de muitas operações de desmonte e das suas variáveis ao longo dos anos, por isso não se pretende que sejam recomendações para alguma situação particular, mas sim para a generalidade das situações. Assim sendo, o resultado final será sempre da responsabilidade do técnico encarregado da operação/dimensionamento. Com base nesta informação, Bender (1999) conclui que a ferramenta que valoriza o “técnico de dimensionamento” é a experiência adquirida com a análise de situações anteriores, não só através da qualidade dos trabalhos executados, mas fornecendo informação valiosa de como dimensionar e adaptar à medida que o trabalho se vai desenvolvendo.

O desmonte de rochas com explosivos é realizado sobre zonas de maciços rochosos limitadas por superfície livres, sendo muito relevante, já que as cargas são sempre instaladas nas proximidades dessas superfícies, com o intuito de promover a libertação do material fragmentado e posterior remoção (Bernardo, 2004).

Por sua vez, Pereira (2001) refere que o correto dimensionamento do desmonte envolve conhecimento e interligação entre as características dos explosivos, o processo de fragmentação do explosivo, as propriedades das rochas e dos maciços e a sequência e tempos de disparo.

Para dimensionar, segundo Bender (1999), surgem quatro características essenciais, a fragmentação desejada, as características do maciço rochoso, a segurança do local e as limitações

do local. Na fragmentação é necessário ter em conta os limites da escavação/equipamento existente, o tamanho máximo da partícula, tendo por base a sua utilização ou possibilidade de ser removida do local, deve ser analisado o material final desejado e por fim verificadas todas as limitações específicas de cada projeto. Nas características do maciço rochoso considera-se a caracterização do maciço como duro ou macio, se é poroso, se tem presença do nível freático e se está húmido, quais os tipos de descontinuidades existentes, se tem zonas de vazio, e se tem/onde se localizam as zonas incompetentes. Na segurança do local verifica-se a existência de proteção adequada caso existam projeções, caso ocorram relâmpagos, se existe o perigo de queda blocos, se o local precisa ventilação, se existe controlo em relação ao tráfego dos equipamentos no local e capacidade de projetar soluções para furos não detonados. Nas limitações do local começa-se por definir quais as estruturas a proteger (principalmente em relação à distância), quais os locais que servem as populações e que possam ficar temporariamente condicionados, ter atenção em relação às vibrações e projeções produzidas, quais as condições do maciço remanescente, verificar as limitações em relação ao tráfego de veículos e as limitações específicas do projeto.

O princípio geral definido por Atchison (1968) é “tirar partido da geologia para otimizar a atividade do explosivo”, para isso é necessário projetar as superfícies livres paralelamente a planos de menor resistência vertical, ao invés de as dispor inclinadas ou perpendiculares à inclinação desses planos. Também é necessário dispor perpendicularmente às xistosidades, caso sejam planos de estratificação horizontal bem definidos. No caso de existirem duas formações distintas (uma resistente e outra branda), deve-se colocar o detonador no meio da formação mais resistente, por forma a otimizar a atuação da onda de tensão.

Bender (1999) refere que além do que é desejado por quem dimensiona, na maioria das vezes o diâmetro é condicionado pelo equipamento existente para furação, contudo se possível deve ser otimizado com base na fragmentação pretendida, altura da bancada, qualidade da rocha, etc. Determina também que a distância à frente pode ser vencida dependendo da força da rocha e da quantidade de energia determinada para vencê-la.

Para que o desmonte se realize com sucesso, Gomes et al. (2007) refere que é necessário que a distância à frente livre esteja de acordo com a carga explosiva alojada no furo. Podemos considerar que determinada carga explosiva, detonada no interior do maciço irá perturbar uma determinada porção do maciço envolvente, limitada teoricamente por uma superfície cilíndrica, o cilindro de comoção, de geratriz igual ao comprimento do furo, cujo raio depende da quantidade de explosivo, das suas características e das características mecânicas da rocha (fig. 4) (Gomes et al., 2007).

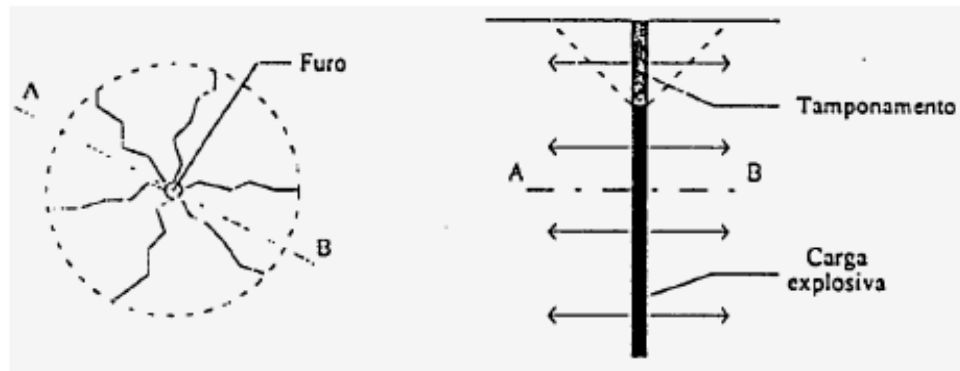


Figura 4 – Cilindro de Comoção (Gomes et al., 2007).

Na sequência do dimensionamento, Bender (1999) refere dois pontos importantes que se devem verificar, em primeiro a distância à frente, que diminui as projeções, mas por sua vez, quando utilizada uma distância maior que o ideal a fragmentação é inadequada. Em relação ao espaçamento, refere que quanto maior, menor será a interação entre cargas no furo, contudo quando o espaçamento é menor, elimina-se a força do explosivo, produzindo maiores vibrações.

A tensão libertada deverá exceder a resistência dinâmica da rocha, com o objetivo de a fraturar. A fracturação da rocha ocorrerá até que a tensão dinâmica seja inferior à resistência dinâmica da rocha (Bernardo, 2004).

Pereira (2001) refere que nos desmontes onde o maciço se encontra sobreposto a uma camada de baixa resistência, o explosivo deve ser colocado abaixo do contacto entre os dois maciços. Assim os resultados serão mais satisfatórios (Pereira, 2001).

Com a utilização de inclinação nos furos com pendentes de 2:1 ou 3:1 obtêm-se melhores resultados, pois a inclinação diminui a energia necessária para movimentar a rocha, diminuindo o consumo de explosivo, mas melhorando a fragmentação (Leguizamon, 2015).

Com a opção de executar o desmonte sem remover a camada de sedimentos que se encontra sobre o maciço, ao invés de se executar uma dragagem antes do desmonte para remoção das camadas sobrepostas, e uma dragagem final para remoção do material desmontado, passa a existir uma única dragagem no final. Para ser viável a opção de um único momento de dragagem, é necessário ter em conta a espessura das camadas sobrepostas, de forma a otimizar da concentração de carga de explosivo naquelas zonas, evitando a projeção de detritos, evitando a propagação de vibrações, aumentando a segurança das estruturas, dos equipamentos e dos intervenientes e principalmente garantir que todas as partículas têm capacidade para ser dragadas (IADC, 2016).

No dimensionamento, Bender (1999) recomenda o uso da imaginação para identificar todos os itens em falta que possam afetar o resultado final e define três princípios em que caso falte algum

destes princípios o resultado será pior que o desejado. O primeiro refere que a carga explosiva tem maior sucesso quando o maciço tem uma ou mais frentes livres para onde se possa movimentar. Em segundo, deve existir espaço livre adequado para a rocha se fragmentar, mover-se e expandir-se. Em terceiro, o explosivo deve estar bem confinado na rocha.

De forma a contribuir para o sucesso do desmonte e minimizando os efeitos indesejados é fundamental utilizar a concentração de carga adequada ao confinamento e ao tipo de rocha, bem como utilizar detonadores que permitam o disparo individual e sequencial de cada furo (Tripathy *et al.*, 2015).

Em relação à temporização Bender (1999) definiu quatro pontos para demonstrar a importância da sua utilização, o primeiro ponto é a garantia da progressão do material para os espaços livres, mantendo a correta distância à frente. O segundo é a melhoria da fragmentação radial entre furos. O terceiro é a redução das vibrações e das projeções. E o quarto é o controlo do espalhamento do material. A temporização é essencial para diminuir as cargas operantes e, por conseguinte, diminuir o nível de vibrações produzidos, conseguindo-se uma maior efetividade dos mecanismos de rotura e um maior controlo na geometria do maciço remanescente (IGME, 1987).

O grau de fragmentação do maciço é afetado tanto pela malha de furação, como pela quantidade de explosivo utilizado no desmonte (Dinis da Gama, 1988), sendo que os fragmentos variam de dimensões por duas razões, segundo Pereira (2001), a primeira está relacionada com o resultado da distribuição do explosivo dentro do furo (influências do tipo da rocha e das sequências de disparos) e a segunda está relacionada com o estado de compartimentação do maciço rochoso.

A relação da fragmentação com a furação prende-se com a utilização de furos de menor diâmetro, que significam melhor fragmentação, contudo aumentam a perfuração específica e os custos da carga e transporte. Por sua vez, as maiores bancadas (altura) necessitam de maiores diâmetros, representando maiores distâncias à frente, diminuindo a perfuração específica, e tornando o desmonte mais barato (em termos gerais). É necessário ter em atenção que maiores blocos podem representar necessidade de “desmonte secundário”, para fragmentar novamente (Bender, 1999).

Nos desmontes subaquáticos a fragmentação é mais uniforme, pois a pressão da água aumenta o efeito de colisão entre partículas, especialmente quando se verificam grandes sobrecargas (Leguizamon, 2015).

A presença de água no maciço rochoso, é um fator importante a ter em conta quando se dimensiona o desmonte, pois segundo Bhandari (1997) a pressão da água intersticial nas rochas

reduz consideravelmente a resistência à compressão e ao corte, bem como com um elevado grau de saturação ocorre uma menor absorção e dispersão da onda de tensão.

A detonação de cargas rodeadas por água pode aumentar em várias vezes o nível de vibrações do terreno, pelo que tem de ser cuidadosamente planeado (protegendo estruturas) (Pereira, 2001).

Com a coluna de água os inconvenientes verificados são o desconhecimento das condições do maciço em toda a extensão (só existe batimetria, meia dúzia de sondagens e geofísica), colocação das cargas logo após a abertura do furo, pois entope facilmente, não existem muitos desvios pois as profundidades têm sido relativamente reduzidas, planeamento difícil devido ao tráfego, detonação por simpatia por vezes acontece (Jimeno *et al.*, 1993). Além disso, segundo Bender (1999) “*O melhor amigo do técnico é o operador de furação, que pode fornecer os dados reais do maciço devido às dificuldades existentes na furação*”.

Segundo a *International Association of Drilling Contractors* a utilização de sobrefuração é um factor bastante relevante quando se fala em perfuração para desmonte subaquático, pois garante a escavação à cota definida, evitando assim que voltem a ser repetidos os processos, devido à ineficácia do processo de desmonte (IADC, 2016).

É necessária a criação de mais furos nos desmontes subaquáticos, pois cerca de 4% dos furos saem defeituosos, ficando impossibilitados de serem usados, resultando na impossibilidade de introdução do explosivo (Leguizamon, 2015).

A qualidade da furação está dependente da qualidade da rocha, que quanto mais fracturada estiver, maior será a probabilidade de existirem desvios de furação, modificando o resultado do desmonte (Gustafsson *et al.*, 2016).

A técnica mais comum para utilizar na furação é a “Over Burden Drilling”, sendo característica pela utilização de um tubo de maior comprimento que o furo, de maneira a ficar exposto e evitar o preenchimento por partículas (Tripathy *et al.*, 2015).

A minimização dos custos em operações de desmonte com explosivo, com vista à sua otimização, conduz a uma minimização dos seus impactes ambientais, o que constitui um incentivo para a aplicação de tecnologia (Pereira, 2001).

Atualmente segundo a *Western Dredging Association* (WEDA) para aumentar a viabilidade e a competitividade das empresas de dragagens é necessário diminuir o preço final das operações, que estão dependentes do grau de fragmentação do material a dragar e do tipo de equipamento que cada empresa possui. Com isto é fundamental otimizar a furação inicial e a geometria do desmonte, de forma a relacionar com as características do maciço reduzindo o preço final significativamente (Reyes, 2007).

3.3. Ondas de Tensão

As ondas de tensão ou sísmicas existem como resultado da natureza elástica do material rochoso, sendo a elasticidade uma propriedade da matéria relacionada com o facto dos materiais se deformarem proporcionalmente às solicitações aplicadas (Bernardo, 2004). Podem ser classificadas como ondas volumétricas, de superfície ou guiadas (fig. 5), sendo que as volumétricas se transmitem através do maciço, radialmente a partir da fonte da vibração, as de superfície dependem de interfaces, entre meios distintos, para se propagar e as guiadas manifestam-se entre interfaces geológicas (Bernardo, 2004).

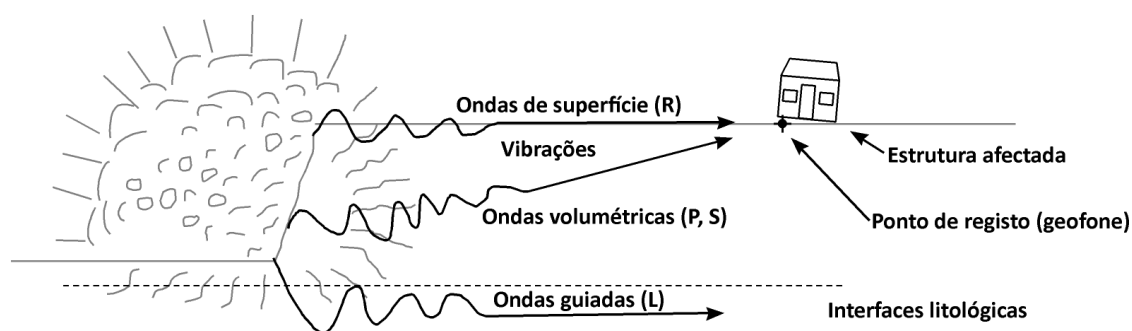


Figura 5 – Esquemática das ondas de tensão (Adaptado de Bernardo, 2004).

Nas proximidades dos locais de escavação com explosivos predominam as ondas volumétricas (Kuzmenko et al., 1993) sendo que nos locais mais afastados (centenas de metros) podem ser registadas vibrações devido às ondas de superfície (principalmente ondas Rayleigh), constituindo um potencial risco de dano para estruturas localizadas a grandes distâncias (Persson, 1990).

Kolsky (1963) relaciona a alteração no volume com as componentes de compressão e a alteração da forma com as componentes de corte, sendo o respetivo mecanismo ondulatório a dilatação e a distorção.

Bernardo (2004) para análise da propagação das ondas de tensão adiciona uma quarta dimensão, o tempo, além das três direções do espaço físico existentes.

Se uma onda atravessar diferentes meios, com impedâncias distintas, segundo Bernardo (2004) a sua transmissão será regida por relações entre as impedâncias acústicas desses meios. Assim, quando uma onda encontra uma interface, divide-se em duas parcelas, a onda refletida e a onda refratada (fig. 6).

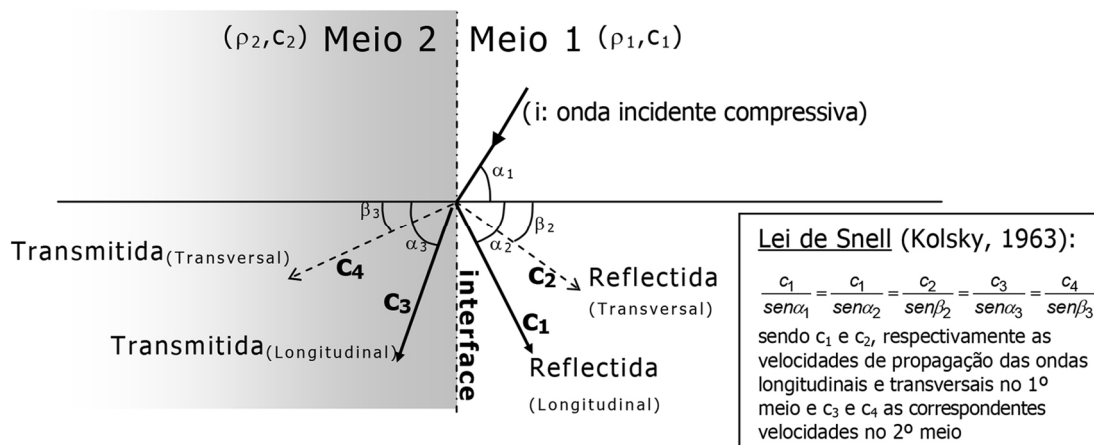


Figura 6 – Reflexão e refração numa interface (Kolsky, 1963).

Nas detonações nos maciços rochosos a onda incidente é compressiva, sendo que o impulso da compressão é refletido (quando encontra a face livre) sob forma de impulso de tração, que se propaga para o interior da rocha provocando rotura por tração. Este fenómeno deve-se à maior facilidade de a rocha atingir a rotura em regime de tração do que em regime de compressão (Bernardo, 2004). Com este fenómeno surgem fraturas paralelas à face livre, destacando-se fragmentos de rochas projetados para o exterior (Dinis da Gama, 2003).

3.4. As Ondas de Choque

Hermans (2005) defende que a onda de detonação se propaga num meio aquático, que após a detonação, se irá propagar sobre a forma de uma onda de compressão, sendo maior a pressão quanto mais perto das imediações do local de detonação estiver, diminuindo à medida que se afasta. Quando a onda atinge a superfície, causa uma perturbação num curto espaço de tempo (milissegundos), sendo verificada através da mudança de cor da água. Como a transição será para um meio aéreo (menor densidade), a onda de compressão será refletida e manter-se-á parcialmente no meio aquático, resultando uma vaporização e projeção da água no meio aéreo. Como a onda dificilmente se propaga na água sobre ondas de tensão, a onda refletida cria uma zona de cavitação, onde irá existir uma perda de energia (através de uma onda sonora). Após esta fase formar-se-ão umas bolhas de gás devido à reação dos produtos químicos com a água formando-se também à superfície umas ondas.

Sob a ação da onda de choque produzida e da pressão dos gases libertados na reação, as paredes do furo expandem-se produzindo-se fraturas na rocha envolvente (Gomes et al., 2007).

Hermans (2005) refere existir uma relação entre a onda de choque e os explosivos utilizados, baseando-se em seis pontos. O primeiro está relacionado com o tipo de explosivo a utilizar, sendo que a utilização dos explosivos comerciais clássicos pode reduzir o pico de pressão primária entre

35-40%. O segundo refere-se à carga instantânea, que quanto mais elevada for a carga por instante, maior será também a pressão da onda de choque num ponto. O confinamento da carga é o terceiro ponto, em que quanto maior o confinamento das cargas, menor o pico de pressão primário, sendo inferior cerca de 70-90% em relação a uma carga igual que detone num meio não confinado (em plena água). O quarto ponto está relacionado com a espessura da água, pois quanto maior a espessura, menor a intensidade da explosão. O quinto ponto indica que em relação às características do fundo, quanto mais mole for o fundo, menor será a ampliação das ondas refletidas, pois um maciço rochoso tende a amplificar e focalizar as ondas de choque em grandes distâncias. Por fim surge a distância ao local de detonação, que geralmente se associa que a pressão da detonação é proporcional à raiz cúbica da carga e inversamente proporcional à distância. Pode-se concluir que o aumento da distância produz uma redução mais efetiva da onda de choque do que quando se diminui a concentração de carga. Contudo, tem de se ter sempre em conta nas estruturas e nos fundos, a reflexão das ondas de choque.

A onda de compressão propaga-se em todas as direções à velocidade próxima da velocidade do som (variando a velocidade com o tipo de rocha e o estado de fragmentação natural do maciço rochoso (Gomes et al., 2007).

Quando a onda de compressão atinge a face livre (mudança de meio) é refletida, dando origem a ondas de tensão que se propagam no interior do maciço. Como a resistência à tracção é inferior à resistência à compressão, a rocha parte. A expansão dos gases introduzidos nas fracturas criadas impulsiona a rocha, desmontando parcialmente o maciço rochoso.

As deformações apresentam sempre um atraso face às tensões que as originam, comprovada pelo facto de a velocidade de propagação das fraturas ser sempre inferior à velocidade de propagação das ondas no meio (Bernardo, 2004).

Para correta planificação é requerido segundo Leguizamón (2015) um conhecimento básico das leis de pressão, dos impulsos e a duração das ondas de choque.

3.5. Vibrações

Os limites das vibrações eram no passado definidos em função da tolerância humana, às variáveis em causa, hoje são fixados em função do conforto que proporcionam (Bernardo, 1995).

A propagação das vibrações em meio aquático forma ondas de choque, que por sua vez têm de ser tidas em conta no cálculo do desmonte, em virtude de provocarem tensões adicionais nas estruturas, provocando alguma deterioração (IADC, 2016).

Em relação ao Controle das vibrações, Pereira (2001) refere três critérios, o primeiro critério é o deslocamento das partículas, o segundo critério é a velocidade das partículas, sendo este o critério mais aceite (AECI, 1982), e o terceiro critério é a aceleração das partículas.

O nível de vibração caracteriza-se por três fatores (Dinis da Gama, 1978), a distância, o tipo de carga e peso de carga detonada (total e por retardo) e as propriedades mecânicas do maciço rochoso.

Pereira (2001) elaborou uma tabela (tab. 1), tendo por base uma modificação de Rosenthal & Morlock (1987), em que indica os fatores que influenciam as vibrações do terreno em desmontes subaquáticos, indicando as variáveis (controláveis e não controláveis), associando à respectiva influência (significativa, moderada ou insignificante).

Tabela 1 – Fatores que influenciam as vibrações do terreno em desmontes subaquáticos (Adaptado de Pereira, 2001).

Variáveis		Influência na vibração do terreno		
		Significativa	Moderada	Insignificante
Não controláveis	Superfície do terreno			X
	Tipo de material de cobertura	X		
	Espessura do material de cobertura	X		
	Erro no tempo de iniciação		X	
	Propriedades da rocha	X		
	Distância	X		
	Geologia local	X		
	Vento e condições climáticas	X		
Controláveis	Peso de carga por retardo			X
	Tempo de retardo	X		
	Distância à frente livre		X	
	Espaçamento		X	
	Tamponamento (quantidade)			X
	Tamponamento (tipo)			X
	Comprimento da carga e diâmetro			X
	Ângulo de furação		X	X
	Sequência de iniciação		X	
	Carga por instante			X
	Profundidade da carga			X
Confinamento da carga	X			

Com base na avaliação da tabela, Pereira (2001) refere que em pontos distantes da detonação, os fatores de dimensionamento são menos críticos, sendo as características da onda dominadas pelas características médias da rocha e solo de cobertura. Refere também que a anisotropia pode originar diferentes propagações da onda para diferentes direções. Quando o substrato rochoso está coberto por solo, a magnitude e a frequência das vibrações decresce rapidamente com a distância, pois parte da energia é usada para vencer a fricção entre partículas e deslocá-las,

devido ao solo ter um módulo de elasticidade inferior ao das rochas (menor velocidade de propagação). Contudo, mesmo que a frequência de vibração diminua, o deslocamento aumenta significativamente à medida que a espessura do solo aumenta (Pereira, 2001).

O fenómeno de baixas frequências é mais facilmente observável em detonações subaquáticas e em maciços rochosos que se encontrem saturados em água (Pereira, 2001).

A presença de descontinuidades tem influência na dispersão da onda segundo Rossmanith *et al.* (1993) uma vez que reduz o movimento do terreno, sendo que o grau de redireccionamento ou dissipação da onda está relacionado com a natureza e frequência das descontinuidades estruturais do maciço.

A influência dos materiais da superfície segundo Pereira (2001) verifica-se na modificação da sucessão de ondas fazendo com que estas durem mais tempo e tenham frequência mais baixas, aumentado por conseguinte a resposta e potenciais danos a estruturas próximas.

Os fatores controláveis definidos por Pereira (2001) são divididos em seis fatores, os parâmetros geométricos relacionados com o dimensionamento, o tempo de retardo, o peso de carga explosiva detonada por retardo, a carga específica, o tipo de explosivo e a dimensão do desmorte.

A magnitude da onda sonora resultante da realização de desmontes subaquáticos face aos potenciais problemas originados pelos restantes impactes (vibração no terreno e onda de choque subaquática) é mais reduzida (Pereira, 2001) e deve-se ao facto de, em caso de mau dimensionamento, a maior parte da energia libertada aquando da detonação do explosivo ser inicialmente transmitida para o meio aquático e só posteriormente para a atmosfera. Assim, a magnitude da onda sonora diminui à medida que aumenta a espessura da lâmina de água (Gustafsson, 1973).

A *Billiton Mitsubishi Alliance* (BMA) indica que o impacto das vibrações depende do tipo e da qualidade da rocha onde existe a detonação, relacionando-se com a carga máxima por atraso, com o nível da vibração e a distância do local à carga e por fim, com a onda de choque propagada no ar e na água (*airblast/underwater pressure pulse*) e respetiva distância à carga. Uma conclusão bastante importante é que a monitorização dos primeiros desmontes, permite ajustar os desmontes seguintes (BMA, 2014).

Leguizamon (2015) de forma simplificada refere que os fatores que controlam os riscos das vibrações no terreno são a localização do desmorte, as características físico-mecânicas do maciço e os maciços envolventes.

3.6. Explosivos

“Explosivo é um composto químico, constituído fundamentalmente por substâncias combustíveis (ricas em carbono) e substâncias comburentes (ricas em oxigénio), que quando ativadas por uma fonte de energia térmica ou mecânica (impacto, fricção ou choque) se decompõem bruscamente, libertando um elevado volume de gases e alta temperatura e pressão” (Gomes et al., 2007).

A energia de um explosivo detonando livremente, no momento da explosão manifesta-se de duas formas, uma energia sob a forma de onda de choque que se desloca através da carga e se transmite ao meio envolvente, e uma energia de pressão resultante do grande volume de gás a alta temperatura e pressão (Gomes et al., 2007).

A seleção do explosivo deve realizar-se com base no conhecimento das suas propriedades básicas, que segundo Gomes et al. (2007) são a velocidade de detonação, a força de um explosivo (Potência), a sensibilidade, a densidade, a impedância do explosivo, a segurança no manuseamento, a produção de fumo/Balanço de oxigénio, a resistência à água, a resistência ao congelamento, e as qualidades do armazenamento. Sendo a principal característica a ter em conta nos desmontes subaquáticos, segundo os mesmos autores a resistência à água, definindo como a capacidade que o explosivo tem para resistir imerso em água sem perder as suas características fundamentais. A absorção de água pelo explosivo dissolve parte deste, alterando a composição dos gases, aumentando a percentagem de gás tóxico. Já Pereira (2001) de forma simples refere que se define resistência à água como a capacidade que o explosivo tem para resistir imerso em água sem perder as suas características fundamentais.

Uma elevada velocidade de detonação facilita a fragmentação da rocha, ou seja, o produto produzido será de menores dimensões, com uma maior produção de finos. Essa é uma vantagem em relação à dragagem, pois facilita esse processo, contudo segundo Dinis da Gama & Jimeno (1993) essa velocidade deve ser próxima da velocidade do som, tentando-se igualar as impedâncias entre explosivo e a rocha (Pereira, 2001).

A velocidade de detonação é maior quanto maior for o confinamento da carga, dependendo do tipo de explosivo, da presença de água e da temperatura do maciço rochoso. Logo conforme a maior ou menor fracturação e dureza do maciço, devem-se empregar explosivos com maior ou menor força explosiva e velocidade de detonação, respetivamente (Gomes et al., 2017).

A utilização de explosivos que possam ser utilizados sem serem removidos da embalagem, nem cortado em secções menores, são os recomendados para meios com forte presença de água, uma vez que a embalagem melhora a resistência do produto. Um outro fator determinante na escolha do explosivo são as condições do meio, sendo mais favorável um meio estático a baixas

pressões, face a um meio com água em movimento e pressões elevadas, que afeta mais rapidamente o explosivo (Pereira, 2001).

Segundo Hermans (2005) as principais características dos explosivos a ter em conta nos desmontes subaquáticos são a velocidade de detonação, sendo que quanto maior é, maior será a fragmentação do material em que está colocado. Para determinar a velocidade desejada devem ser tidos em conta parâmetros como a impedância e a resistência do maciço, sendo que em relação ao explosivo, a velocidade varia consoante o seu diâmetro, o tipo de detonação (detonadores, ou cordão detonante) e consoante o seu confinamento.

Hermans (2005) também refere as principais características do explosivo a serem utilizados em desmontes subaquáticos, definindo a densidade do explosivo como uma característica muito importante, pois o valor tem de ser superior à densidade da água, existindo a certeza dos cartuchos ficarem a boiar, não se posicionando no interior do furo. Em relação à resistência à água, este parâmetro varia consoante a composição química do explosivo, sendo que diminui a resistência com o aumento da quantidade de glicerina. A sensibilidade está relacionada, com a existência de esferas de vidro no interior dos cartuchos, que podem ser estruturalmente afetadas quando são atravessadas pelas ondas de choque de outras detonações. A estrutura pode-se unicamente deformar caso não ultrapasse a densidade crítica, contudo pode ficar de tal forma afetada que as estruturas possam não detonar, inviabilizando o desmonte. Assim recomenda-se a utilização de explosivos de solução aquosa para maciços homogêneos, ou então para maciços pouco fraturados. A detonação por simpatia está relacionada com o risco de detonação de um explosivo quando destabilizado pela onda de choque doutras sequências de detonação, que se detonará mesmo antes de ser disparado o detonador. Este fator aumenta com o aumento da presença de nitroglicerina na composição.

As limitações na escolha do explosivo encontram-se ao nível da proteção ambiental, na segurança das pessoas e bens e na relação entre a capacidade de desmonte e o porte dos equipamentos (Dinis da Gama, 1988).

Leguizamon (2015) com a análise de desmontes subaquáticos na Colômbia indica que entre 5 a 20% dos furos carregados apresentam falhas nos mecanismos de detonação (detonadores ou cordão).

3.7. Segurança

Atualmente a segurança assume um carácter decisivo na execução ou decisão de qualquer Projeto, quer pela crescente valorização da vida humana, quer pela diminuição de gastos com prejuízos e até pela responsabilidade incutidas aos decisores/responsáveis.

Os furos carregados e preparados devem ser assinalados de modo visível para serem visíveis a partir das margens, fator importante para determinar com exatidão as distâncias, bem como escolher o posto para instalar a instrumentação (Pereira, 2001).

É fundamental reduzir os erros de perfuração, para reduzir as detonações simultâneas e acima de tudo detetar imediatamente os furos não detonados, para evitar acidentes com embarcações e equipamentos (Pereira, 2001).

Além disso, segundo Pereira (2001), *“a colocação no fundo do furo exige a colocação com sistemas de carregamento pneumático. Os cartuchos devem ser escorvados com um dois detonadores com o mesmo tempo de micro retardo, reduzindo o número de tiros falhados e a fraca fragmentação”*.

Hermans (2005) através da sua experiência refere que a criação de uma zona com bolhas de ar entre as estruturas e as zonas do desmonte permite criar uma zona de interface entre dois meios, o meio aéreo (ar das bolhas) e o meio aquático. Parte da onda será refletida, e uma outra parte irá comprimir as bolhas, que irão absorver uma quantidade da energia, verificando que para um débito de ar equivalente a 8 l/s/m, o fator de redução da pressão de pico é de 70% (Hermans, 2005).

3.8. Impactes Ambientais

Para proteger os seres vivos aquáticos que se encontrem nas imediações Hermans (2005) refere duas situações a serem realizadas, a primeira é a detonação de cargas muito reduzidas alguns minutos antes do desmonte, que afastam os animais da zona a desmontar e a segunda é a emissão de ruído através dum hidrofone, que emita em várias frequências afastando os peixes das zonas pretendidas. De referir que os peixes são sensíveis a velocidades de detonação superiores a 13mm/s (Hermans, 2005).

Um ponto a ter em atenção é que a utilização das bolhas de ar provoca turbulência na água, que por sua vez aumenta a oxigenação, atraindo os peixes para a zona das bolhas, o que não é desejável (Hermans, 2005).

Segundo a BMA (2014) devem ser criadas zonas de exclusão para afastar as espécies da zona de desmonte através da criação de um programa de monitorização e gestão das espécies marinhas. Com este programa no caso prático da BMA nos Estados Unidos da América foram utilizadas zonas de exclusão para afastar as espécies, sendo utilizadas num raio de 1,15 km para tartarugas e peixes de maiores dimensões e 2 km para cetáceos.

Para garantir que nestas zonas não existem os animais de maiores dimensões e/ou cardumes é necessário criar equipas em barcos e/ou torres para controlo visual das zonas e também é necessário a sua monitorização através de sonar (hidrofones). Estas zonas têm de ser garantidas até ao momento da utilização de sinais sonoros antes de cada desmonte.

Na fase pós-desmonte deve existir um investimento no estudo dos impactos do desmonte sendo o primeiro procedimento a recolha de alguns animais mortos, de forma a fazer uma autópsia e determinar a causa da morte (BMA, 2014).

3.9. Minimização dos Impactos

A BMA (2014) refere os seguintes pontos para minimizar os impactos causados:

- . De forma a reduzir as vibrações e o barulho devem ser utilizados equipamentos de furação hidráulicos ao invés dos pneumáticos.
- . Ao utilizar ao máximo as capacidades dos equipamentos de dragagem, diminui-se o volume de rocha a ser desmontada com explosivos.
- . Ter atenção às épocas de reprodução e de nidificação das espécies, para não coincidirem com os desmontes.
- . Quando for tecnicamente possível, utilizar explosivos com menor velocidade de detonação, mas sem provocar o aumento da quantidade de explosivos, para o mesmo resultado.
- . Utilizar atrasos na sequência de desmonte, evitando detonar toda a carga num instante só.
- . Utilização de patamares nos furos, quando possível
- . Utilizar a sobrefuração, para garantir a fracturação da rocha na zona pretendida.
- . Optimizar o esforço necessário para movimentação do maciço, minimizando o excesso de energia dissipado para a coluna de água.

3.10. Desmonte Subaquático

Em relação à utilização de equipamentos de carregamento, a concentração de carga é entre 15 a 40% superior à operação manual, fazendo com a malha possa ser mais alargada, reduzindo os custos e os perigos de detonação por simpatia (falta de alinhamento dos furos) (Pereira, 2001).

Os desmontes subaquáticos quando mal dimensionados, podem originar graves problemas ambientais (vibrações), onda de choque subaquática, onda sonora, projeção de blocos e danos no maciço remanescente. Todos estes fenómenos estão interligados, o controlo direto de uns, resulta num controlo indireto dos restantes (Pereira, 2001).

Existem três elementos chave a ter em conta segundo a BMA (2014), o primeiro é a fracturação da rocha, para ter em conta a facilidade da sua remoção, o segundo é a minimização dos impactos no meio ambiente, nas infraestruturas e nas atividades envolventes e a terceira é o tempo total necessário para todas as fases estarem concluídas, incluindo a dragagem. Seguindo a lógica de raciocínio, é preferível realizar os desmontes e as dragagens num momento só, quer para facilitar a nível do projeto, quer para causar distúrbios numa única vez, ao invés de se prolongar em múltiplas alturas ao longo do ano. Com o objetivo de rentabilizar economicamente o processo de desmonte, deve-se aumentar a fragmentação do maciço para facilitar a dragagem. Contudo se existir viabilidade em remover com recurso a sistemas de escavadoras, permite aumentar a malha de perfuração, reduzindo o tempo destinado à perfuração e ao desmonte (aumentando o da dragagem). Claro que o projeto deve ser sempre realizado tendo por base a “força” da rocha e o seu grau de fraturação, de modo a evitar zonas onde haja uma fraca fragmentação (BMA, 2014).

O desmonte deve ser realizado tendo por base a movimentação do maciço para uma frente livre (zona livre), sendo ideal que a dragagem se efetue de modo a remover o material antes do próximo desmonte, facilitando a movimentação do maciço, maximizando a fragmentação e facilitando a remoção do material desmontado.

Nas áreas com furos de maior profundidade sugere-se a criação de dois patamares de cargas explosivas, que irá reduzir a carga por instante detonada, as vibrações e a propagação no ar. A carga por instante num furo com dois patamares é 40 a 45% menor quando comparada com um furo com um único patamar, com a mesma profundidade (BMA, 2014).

Leguizamon (2015) indica que as principais características diferenciadores do desmonte subaquático são os consumos de explosivo serem entre três a seis vezes superiores a um desmonte em céu aberto, para as mesmas condições de maciço, os resultados do desmonte devem ser satisfatórios para não ser necessário realizar fragmentação secundária, que iria ser um processo muito caro e muito complexo; os explosivos devem ser resistentes à pressão

hidrostática e à água; o desmonte pode ter um efeito ambiental maior, pois a onda de choque tem um raio de ação maior do que a onda resultante de um desmonte a céu aberto; é muito importante calcular de forma precisa o emboquilhamento e o desvio da furação, mesmo que seja um processo muito complicado; ressaltar que existe um elevado risco de transmissão da detonação entre cargas, que é difícil de controlar e planificar.

3.11. Estratégia para as infraestruturas marítimas

Com o valor estratégico e económico do mar a aumentar atualmente, determinadas regiões como é o caso das ilhas atlânticas e da respetiva ligação ao continente europeu, podem emergir, num futuro breve, para uma posição conspícua mundial (Ferreira, 2015). Com os oceanos a serem o elo de unidade cultural e económica entre as nações, e o acesso ao mar, um requisito essencial, até para países interiores como a Áustria e a Suíça, o transporte marítimo é elemento de suporte essencial à economia.

Os sectores marinho e marítimo constituem a chamada “Economia Azul”, capaz de revitalizar os sectores marítimos tradicionais, facilitando o desenvolvimento dos portos enquanto placas giratórias da “Economia Azul”. Assim os principais objetivos devem passar por facilitar a modernização das infraestruturas, a fim de melhorar as ligações e reforçar a intermodalidade. De forma a combater a sazonalidade, também é previsto que os portos se adaptem ao turismo marítimo e costeiro, criando condições para atividades de lazer, incluindo serviços aos passageiros de cruzeiros e identificando e promovendo atrações naturais e culturais (Comissão Europeia, 2013).

Segundo a *National Transport Commission* (NTC, 2011) australiana, a estratégia para as infraestruturas marítimas passa por adaptá-las à rede viária e ferroviária, aumentando a sua eficiência.

Em relação à estratégia da Rússia para desenvolver as suas infraestruturas, as prioridades passam por acelerar o crescimento dos terminais principais, garantir o desenvolvimento das infraestruturas marítimas nas principais ligações marítimas do país, e eliminar as desproporções de desenvolvimento face à rede viária e ferroviária (FAMRT, 2015).

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) indica que o crescimento de passageiros e de mercadoria transportada por via marítima, implica a criação de corredores de maior dimensão, que por sua vez desafia as autoridades nacionais a aproveitarem a oportunidade e adequarem as infraestruturas marítimas às suas futuras exigências. Estas exigências têm de ser contextualizadas na sua importância para os respetivos países/regiões e a duração das intervenções a efetuar, que não pode ser demorada no tempo, devido à rápida desatualização de métodos e processos (OCDE, 2011).

4 - O Caso do Porto de Leixões

(página propositadamente em branco)

4. O Caso do Porto de Leixões

4.1. Intervenções Anteriores Relevantes

Em 2007 realizou-se a primeira grande intervenção na componente das acessibilidades marítimas com o estabelecimento da Bacia de Rotação e do Canal de Acesso à Doca nº4 à cota -12m (ZHL). Foi efetuada uma dragagem de sedimentos inicial de forma a expor o maciço, aproveitando uma parte dos sedimentos para alimentação artificial das praias. A maioria do maciço desmontado foi caracterizado com um grau de alteração “Alterado” (W3) e com um grau de fracturação “Próximas” (F4) (ISRM, 1981). Na tabela 2 encontram-se os dados da geometria do desmonte tipo.

Tabela 2 – Geometria do desmonte tipo da intervenção efetuada em 2007.

Geometria	
Largura da Frente (m)	24
Espaçamento entre Furos (m)	2
Distância entre Fiadas (m)	1,5
Número de Furos/Fiada	12
Número Fiadas	2
Número Furos/Desmonte	24
Inclinação do Furo	Vertical

A profundidade dos furos foi bastante variável, devido à variação das cotas da superfície do maciço, que por sua vez também faz variar a carga de explosivo em cada desmonte. A carga específica localizou-se no intervalo entre 1,2 a 1,3 kg/m³.

4.2. Planeamento e Otimização do Desmonte do Canal de Acesso e Bacia de Rotação

O projeto atualmente em curso prevê o estabelecimento e aprofundamento do canal exterior e da bacia de rotação das cotas atuais, entre -17 a -13m (ZHL) e -12 a -10m (ZHL) para -16,85m (ZHL) e -15,5m (ZHL) respetivamente, melhorando as condições de segurança, navegabilidade e operacionalidade do porto (APDL-RNT, 2018).

O objetivo do rebaixamento do canal de acesso exterior e da bacia de rotação é garantir o acesso e aumentar a segurança nas manobras do navio de projeto, cujas dimensões são 300m de comprimento, 40m de boca e 13,7m de calado. Para o navio de projeto a bacia de rotação tem de ser aumentada para 600m de diâmetro e tem de ser dragada até à cota -15,5m (ZHL), enquanto

que o canal de acesso exterior necessita de ser dragado até à cota -16,85m (ZHL). A escolha das dimensões do navio de projeto tem por base as limitações das infraestruturas portuárias devido a estarem limitadas pela cidade envolvente. Assim só é possível num futuro próximo aumentar a profundidade do porto.

Na figura 7 é visível toda a área a intervencionar, verificando que se trata de uma área extensa.



Figura 7 – Vista aérea do Porto de Leixões. Fonte: João Ferrand – Fotografia; Lda (2014).

A duração de todas as intervenções relacionadas com o projeto referenciado tem um total previsto de aproximadamente 30 meses, sendo que só para o rebaixamento do canal de acesso e da bacia de rotação, estão previstos 17 meses.

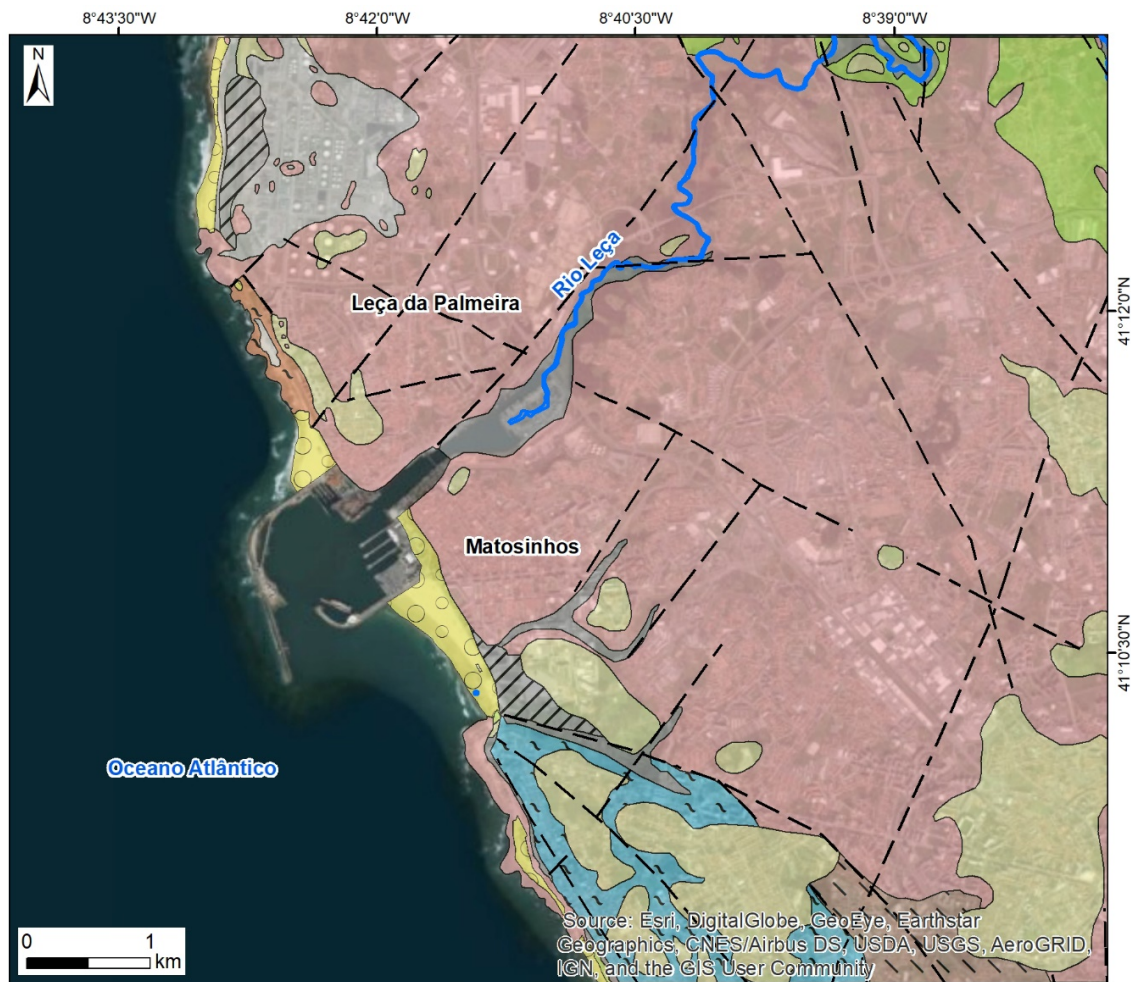
4.2.1. Caracterização e Avaliação do Maciço Rochoso

O porto de Leixões localiza-se na Zona Centro-Ibérica, que é constituída essencialmente por um substrato dominado por rochas metassedimentares do proterozóico superior onde assentam em discordância as séries do Paleozóico médio-superior. Este complexo metassedimentar foi afetado pela orogenia Varisca (ou Hercínica) (Pereira, 1992; Chaminé et al., 2003).

A fraturação regional de um substrato muito deformado, na área em estudo e envolvente, indica que as orientações dominantes são do quadrante NW-SE a NNW-SSE, predominando as descontinuidades verticais a sub-verticais; ocorrendo ainda estruturas NE-SW e ENE-WSW (e.g. Pereira, 1992; Araújo et al., 2003; Chaminé et al., 2003; Afonso et al., 2004; Afonso, 2003, 2011).

O Porto de Leixões encontra-se instalado no substrato ígneo de rochas granitóides e rochas metassedimentares, bem como uma cobertura de depósitos aluvionares (Pereira, 1992; Afonso, 2011). A cobertura aluvionar é constituída por sedimentos lodosos, com componente silto-arenosa e alguns seixos rolados, e estes materiais são transportados pelo rio Leça e pela transposição de areias da praia de Matosinhos.

O substrato rochoso é maioritariamente micaxistos e variados tipos de rochas graníticas (Pereira, 1992; Afonso, 2011; APDL-EIA, 2018), como se pode visualizar na figura 8.



Base geológica adaptada: Pereira et al., 1992; Chaminé et al., 2003; Afonso, 2011

Cobertura sedimentar

- Aterros
- Areias de praia e cascalheiras fluviais
- Areias de duna
- Aluviões
- Depósitos conglomeráticos e arenosos

Rochas Metassedimentares

- Xistos, metagrauvaques
- Gnaisses, migmatitos, micaxistos granatíferos e com distena, quartzo-tectonitos

Rochas graníticas e gnáissicas

- Granito de grão médio a grosseiro, de duas micas
- Granito de grão fino a médio, de duas micas, com esparsos megacristais
- Granito gnáissico, granatífero

Lineamentos tectónicos foto-interpretados

Figura 8 – Enquadramento do Porto de Leixões na Carta Geológica (adaptado de Pereira, 1992; Afonso, 2011).

Com base na prospeção da Tecnasol (2004) (Anexo I e Anexo II), as rochas identificadas são o granito do Porto e o xisto luzente, em relação às aluviões são caracterizadas por lodos depositados no interior do porto de cor cinzenta a negra, por vezes ligeiramente arenosos e localmente com seixos subrolados ($D_{m\acute{a}x}=2\text{cm}$), com espessuras entre 0,1m e 4m. Também existem pontualmente (Terminal de Cruzeiros) areias de grão fino, localmente lodosas.

Em relação ao granito do Porto caracterizam-se como granitos descompostos (W5) e a sua localização é no interior do canal, o que para este caso de estudo não se indica relevante para o dimensionamento do desmonte. De ressaltar que a maioria deste granito já foi removido com as operações de rebaixamento do porto em 2006, em que a cota foi fixada em -12,00m em relação ao zero hidrográfico.

Na zona do porto de pesca e no terminal multiusos surgem granitos de grão médio, por vezes com textura gnaissica, de tons cremes acinzentados ou acastanhados, de duas micas, embora por vezes apenas moscovítico. Atualmente só se verificam zonas residuais deste granito, pois no rebaixamento de 2006, a profundidade passou a ser de aproximadamente 10/11m em relação ao zero hidrográfico.

Para avaliação do maciço rochoso, determinou-se 11 zonas onde serão dimensionados desmontes com recurso a explosivos, em que se verificam variações nas características geológicas e geotécnicas do maciço a desmontar. Assim sendo, pretende-se uniformizar os maciços por zonas, de forma a otimizar o processo de desmonte, selecionando e aglomerando as zonas que têm características em comum.

Para iniciar o dimensionamento é essencial caracterizar o maciço rochoso, nas suas principais propriedades que são o grau de alteração e o grau de fracturação, cujos dados já são conhecidos com base em anteriores intervenções portuárias. A tabela 3 refere o tipo de maciço de acordo com o grau de alteração e fracturação, relacionando com a classificação ISRM (1981).

Tabela 3 – Caracterização do maciço rochoso por áreas.

Localização	Sondagens		Previsto		Tipo
	Grau de Alteração	Grau de Fracturação	Grau de Alteração	Grau de Fracturação	
Posto A	----	----	W2	F4	Pouco Alterado
Posto B	W2	F4			
Posto C	W2	F4			
BR Norte	W2	F4			
BR Este	W2-3	F5	W2-3	F5	
BR Sul	W2-3	F5			
BR Oeste	W2	F4	W2	F4	
Terminal Multiusos	W2	F4			
TC Norte	W2	F3			
Entrada Porto	W2	F4			
Entrada Quebra-Mar	----	----			

Com a análise das propriedades do maciço verifica-se que existe um padrão, sendo que em algumas áreas os valores alteram ligeiramente. Para auxiliar o dimensionamento do desmonte é preferível optar pela pior condição, de forma a garantir que o desmonte ocorre. Para isso é

preferível optar pelas melhores condições de maciço, utilizando maior concentração de carga. Não existe informação sobre o maciço na área da Entrada do Quebra-Mar, nem no Posto A, mas partindo das condições gerais do porto, dificilmente o maciço será mais alterado que no interior do porto. Na tabela 4 verifica-se a existência de dois tipos de maciço, o maciço A e o Maciço B.

Tabela 4 – Tabela síntese da caracterização do maciço rochoso.

	Grau de Alteração	Designação	Grau de Fracturação	Designação
Maciço A	W2	Pouco Alterada	F4	Próximas
Maciço B	W2-3		F5	Muito Próximas

Em virtude de não existirem dados concretos em relação ao maciço, é preferível dimensionar o desmonte como se as propriedades gerais fossem similares ao maciço B, ou seja, um maciço pouco alterado com fracturação próxima. As tabelas 5 e 6 indicam o grau de alteração e do estado de fracturação da classificação ISRM (1981).

Tabela 5 – Classificação do Grau de Alteração (ISRM, 1981).

Estado de Alteração	
Símbolos	Designação
W1	Sã
W2	Pouco Alterada
W3	Medianamente Alterada
W4	Muito Alterada
W5	Decompоста

Tabela 6 – Classificação do Estado de Fracturação (ISRM, 1981).

Estado de Fracturação	
Símbolos	Designação
F1	Muito Afastadas
F2	Afastadas
F3	Medianamente Afastada
F4	Próximas
F5	Muito Próximas

4.2.2. Avaliação dos Sedimentos

Foi realizada uma campanha de prospeção geofísica em 2017 (figura 9) que permitiu identificar a espessura dos sedimentos nas várias áreas do porto, bem como identificar afloramentos rochosos.

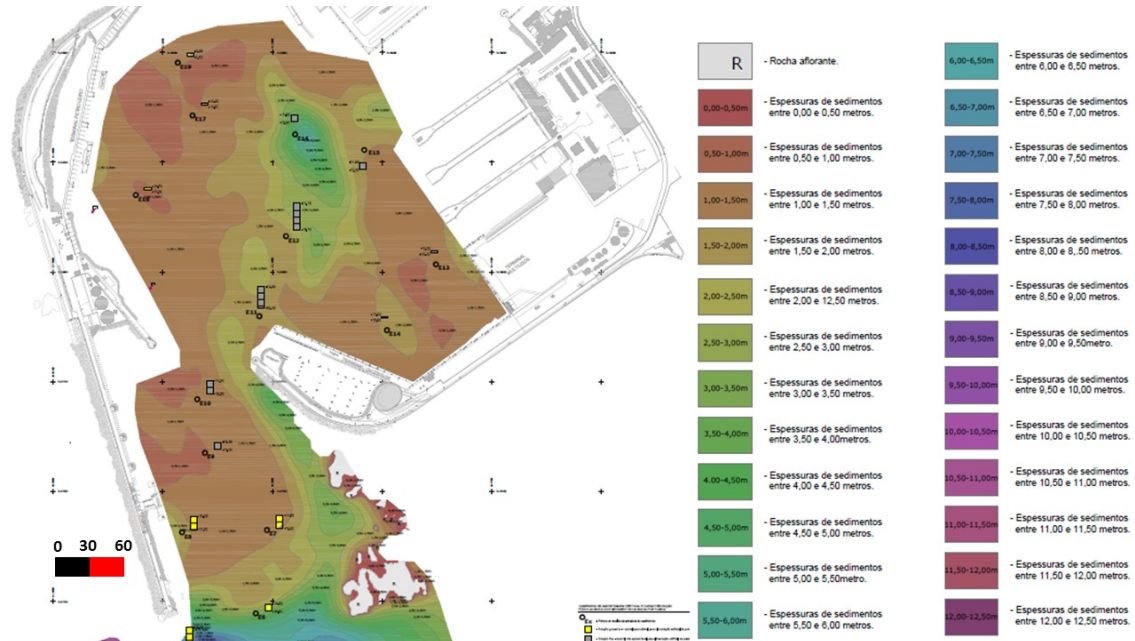


Figura 9 – Campanha de Prospeção Geofísica (APDL-EIA, 2018).

Com a análise da figura 9 verifica-se que a deposição de sedimentos no anteporto é na generalidade uniformemente distribuída, apesar de existir uma zona com uma espessa camada de sedimentos, que se associa a ser a antiga foz do rio Leça. No canal exterior a deposição é maior junto às estruturas do porto, bem como junto aos afloramentos rochosos.

4.2.3. Identificação das Áreas

O processo de desmonte do maciço rochoso em meio subaquático compreende o conhecimento das condições do fundo. Assim sendo analisa-se os dados da batimetria, do relatório das sondagens e do histórico de rebaixamentos efetuados até à data. Com estes dados torna-se possível caracterizar as zonas a desmontar. Contudo como é possível visualizar na figura 10 a área da superfície do projeto reflete que todas as otimizações identificadas podem representar poupanças bastante significativas, e o inverso também provoca prejuízos avultados.

As necessidades do Porto de Leixões estão relacionadas com o aumento da capacidade do porto, o que implica rentabilizar ao máximo as suas capacidades, quer pelo uso de toda a sua área geográfica, quer por atribuir maior capacidade às estruturas já existentes. Para rentabilizar é necessário permitir que navios de maior capacidade consigam aceder ao anteporto, como são o caso dos postos de combustíveis, o terminal multiusos e o terminal de cruzeiros. Em relação ao

canal interior a expansão da bacia de rotação para os 600m de diâmetro, permite que os navios de maior dimensão possam entrar, pois as limitações de largura do canal interior obrigam os navios a realizar a manobra de rotação na bacia de rotação e entrar de popa.

A operação de rebaixamento do maciço rochoso será efetuada na zona do anteporto e no acesso ao mesmo através do quebra-mar Norte, o que corresponde à zona mais movimentada do porto. Com a análise da estrutura atual foi delimitada a área a rebaixar e definidas as cotas finais de escavação que se pretendem garantir, ficando demarcada de acordo com a figura 10.



Figura 10 – Área da superfície do projeto e respetivas cotas finais de escavação.

Com a observação da figura 10 ressalva-se que existem duas cotas de projeto, a cota -15,5m (ZHL) que corresponde a toda a zona do anteporto, e a cota -16,85m (ZHL) que corresponde ao canal exterior. É possível visualizar a nova bacia de rotação pretendida e constatar que ocupa quase todo o anteporto, sendo neste projeto a grande evolução a executar, pois com o novo diâmetro permite a rotação de navios com maior comprimento. O rebaixamento permite a admissão de navios de maior calado, estando assim o porto adaptado a novas embarcações.

No intuito de clarificar o desmonte subaquático o IGME (1987) definiu três aspetos importantes no dimensionamento do desmonte, a carga específica dos furos, de acordo com a granulometria máxima admissível (associada ao respetivo método de dragagem), o diâmetro do furo de acordo com a altura da camada que se pretende desmontar, e por fim o valor da sobrefuração, tendo por base a geometria do desmonte e respetivo ângulo de rotura.

Hermans (2005) define a carga específica também de acordo com a fragmentação máxima pretendida das partículas, de acordo com o tipo de dragagem a utilizar, atribuindo um valor concreto para a carga específica de acordo com o tipo de rocha, ao invés do IGME que fornece um intervalo de valores.

Com o objetivo de determinar as concentrações de carga, o diâmetro do furo e a sobrefuração para diferentes áreas a desmontar, definiu-se as respetivas zonas tal como se verifica na figura 11.

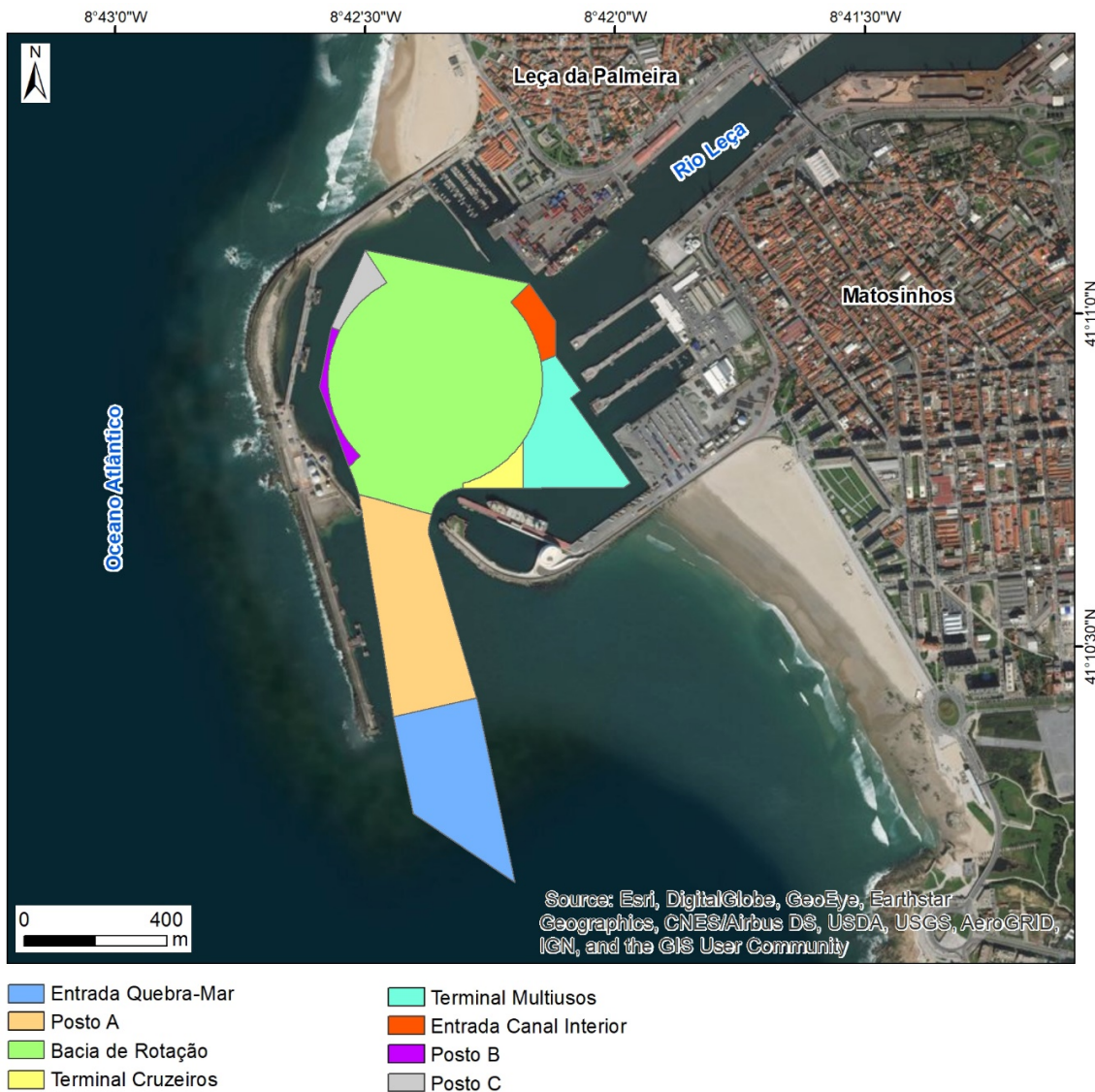


Figura 11 – Localização das diferentes áreas estudadas.

As zonas selecionadas pretendem corresponder às principais zonas a desmontar, podendo existir características muito diversificadas, bem como variações significativas das profundidades devido às anteriores intervenções para aumento da profundidade do canal.

Para ser possível a elaboração de uma tabela síntese que contenha as características dos principais pontos de realização do desmonte, iniciou-se pela definição desses mesmos pontos, estando relacionados com a importância dos locais para a atividade do porto.

Deste modo definiram-se onze áreas:

A Entrada do quebra-mar norte, o Posto A, o Posto B, o Posto C, os quatro segmentos na bacia de rotação – Norte, Sul, Este e Oeste, o Terminal de cruzeiros, o Terminal multiusos e a Entrada do canal interior

4.2.4. Sondagens

No ano de 2004 foi feita uma campanha de prospeção geológica no anteporto e no canal de acesso à doca nº4 do Porto de Leixões, constituída por trinta e nove sondagens, sendo que vinte e três dessas sondagens se encontram dentro da área de estudo. Dentro da área de estudo foram utilizadas as informações de seis sondagens, quer devido à sua localização, que representa pelo menos uma das áreas selecionadas, quer pela profundidade atingida. Em relação à profundidade é necessário referir que na intervenção de 2007, existiu um rebaixamento do maciço para os -12m (ZHL), sendo que as características do maciço acima da cota intervencionada são compostas por sedimentos e não pela informação das sondagens. De referir também que em algumas zonas mais profundas o material poderá ter outras características devido à influência das intervenções de rebaixamento. A figura 12 indica a localização das sondagens selecionadas, enquadrando-as nas áreas definidas.

O Anexo I contém a campanha de prospeção das seis sondagens efetuadas e o Anexo II contém a planta de localização das sondagens.



Figura 12 – Localização das sondagens selecionadas.

Tendo por base a informação sobre as sondagens, foram selecionadas as sondagens da tabela 7, que possuíam informação mais real e contextualizada para o objetivo da dissertação, sendo utilizadas como base para a determinação das áreas de estudo e respetivas características geológicas e geotécnicas.

Tabela 7 – Coordenadas, área associada e cota atingida de cada sondagem.

Sondagem	Coordenadas		Área Associada	Cota Atingida (ZHL) (m)
	M	P		
S 2	-48 354	168 303	Posto B Posto C	-11,50
S 7	-48 156	168 014	Bacia Rotação Oeste	-11,94
S 13	-48 000	168 292	Bacia Rotação Norte	-12,89
S 14	-47 86	167805	Terminal Cruzeiros	-11,60
S 16	-47 789	168 114	Bacia Rotação Este e Sul	-13,00
S 20	-47 643	168 095	Terminal Multiusos	-14,69

As características do maciço rochoso em cada sondagem, abaixo da cota rebaixada na anterior intervenção identificadas estão representadas na tabela 8.

Tabela 8 – Características do maciço rochoso em cada sondagem.

Sondagem		Litologia	Grau de Alteração	Grau de Fraturação
S 2		Xisto Luzente	W2	F4
S 7				
S 13				
S 14			W 2-3	F3
S 16				F5
S 20	Até -13m (ZHL)		W3	F3
	Após -13m (ZHL)	W2	F4	

4.2.5. Caracterização das Áreas

A caracterização das áreas onde serão efetuadas as intervenções de rebaixamento é o ponto de partida para a otimização das operações de desmonte, dado possibilitar a uniformização das características como são o caso da profundidade, da espessura dos sedimentos, da profundidade de projeto, do tipo de sedimentos, da altura de maciço rochoso a remover, do diâmetro de perfuração, do tipo de maciço rochoso e da altura do furo. De seguida são apresentadas as diferentes zonas de acordo com as suas características:

Para definir as características dos pontos elaborou-se a tabela 9 onde se optou pela utilização do valor médio na profundidade e na espessura dos sedimentos, de forma a ser possível caracterizar todas as áreas de estudo. Neste caso concreto a opção pelo valor médio é a melhor

decisão, pois a batimetria tem variação de profundidades mensuráveis de dez em dez centímetros, enquanto que a espessura só é mensurável de meio em meio metro, o que obriga a conciliar todos os dados.

Tabela 9 – Características das áreas estudadas.

Localização	Profundidade (m)	Valor Médio (m)	Espessura Sedimentos (m)	Valor Médio (m)	Profundidade Projeto ZHL (m)	Tipo Sedimentos
Entrada Canal	9,0-12,5	10,75	1,0-3,0	2,0	-15,5	Fração Fina
Posto B	10,0-11,0	10,5	1,5-2,0	1,75		Fração Grosseira
Posto C	6,0-8,0	7,0	0,5-1,0	0,75		Fração Fina
BR Norte	11,0-12,0	11,5	1,0-1,5	1,25		
BR Este	12,0-12,5	12,25	3,0-6,0	4,5		
BR Sul	11,5-12,5	12,0	1,5-3,5	2,5		
BR Oeste	12,0-12,5	12,25	1,0-2,0	1,5		
Terminal Multiusos	9,5-11,0	10,25	1,0-2,0	1,5		
TC Norte	10,5-12,0	11,25	1,5-2,0	1,75		-16,85
Posto A	12,0-15,5	13,75	1,0-2,0	1,5		
Entrada Quebra-Mar	14,5-17,0	15,75	2,0-6,0	4,0		

Com a análise da tabela 9 determinou-se um valor médio para a profundidade e um valor médio para a espessura de sedimentos de cada área, que quando conciliados com a cota de projeto, fornecem a altura da camada de maciço rochoso a remover. Esta altura é um valor médio representativo de cada área, e assim já torna possível caracterizar cada área com os três valores médios adquiridos.

Com o objetivo de simplificar as características a analisar, elaborou-se a tabela 10. Para este caso já estão identificados os tipos de sedimentos relacionados com a sua futura utilização. Esta tabela é uma simplificação da tabela 9 onde se adiciona o valor final da altura da camada de maciço rochoso a remover.

Foi associada a cada área a profundidade de projeto e o tipo de material que constitui a camada de sedimentos de cada área (Consulmar, 2017b) e por fim fica determinado o valor da camada de maciço rochoso a remover, que é representativo de cada área.

Tabela 10 – Tabela síntese das características de cada área.

Localização	Profundidade (m)	Espessura Sedimentos (m)	Profundidade Projeto (m)	Altura Camada Maciço Rochoso a Remover (m)
Entrada Canal	10,75	2,0	-15,5	2,75
Posto B	10,5	1,75		3,25
Posto C	7,0	0,75		7,75
BR Norte	11,5	1,25		2,75
BR Este	12,25	4,5		0*
BR Sul	12,0	2,5		1,0
BR Oeste	12,25	1,5		1,75
Terminal Multiusos	10,25	1,5		3,75
TC Norte	11,25	1,75		2,5
Posto A	13,75	1,5		1,6
Entrada Quebra-Mar	15,75	4,0	-16,85	0*

Posto A



Figura 13 – Localização do Posto A.

Tabela 11 - Características do Posto A.

Localização	Profundidade (m)	Espessura Sedimentos (m)	Profundidade Projeto ZHL (m)	Tipo Sedimentos
Posto A	13,75	1,5	-16,85	Fração Grosseira

O Posto A (fig. 13) é um ponto de atracação de navios petroleiros, podendo servir todos os tipos de navios que têm características para utilizar o Terminal Petrolero de Leixões (TPL). Este posto tem capacidade para serem movimentados os diferentes produtos. Com esta premissa a profundidade mínima a garantir é de 16,85m (ZHL) (tab.11), aumentando assim a capacidade para receber navios de maior calado e por sua vez com maior capacidade. É a área que regista as maiores profundidades no Porto de Leixões. De referenciar que é o único posto que processa crude, o que restringe todos os navios que transportam esta a matéria-prima a utilizar

exclusivamente esta área ou o Terminal Oceânico de Leixões (monobóia). Em relação ao transporte de sedimentos, o Posto A acumula sedimentos provenientes maioritariamente do Oceano Atlântico.

No Posto A a cota de projeto já é maior (-16,85m (ZHL)) o que poderia ser significativo em relação à altura do maciço rochoso a remover, mas em virtude de já se encontrar no canal exterior a profundidade já é mais elevada. A espessura de sedimentos está em consonância com os valores da passagem para o canal exterior (vindo do anteporto), verificando-se que o maciço rochoso já se encontra a maior profundidade. Na construção do posto A rebaixou-se logo o maciço para uma profundidade entre os -16,5 e os -17,5m (ZHL).

Posto B

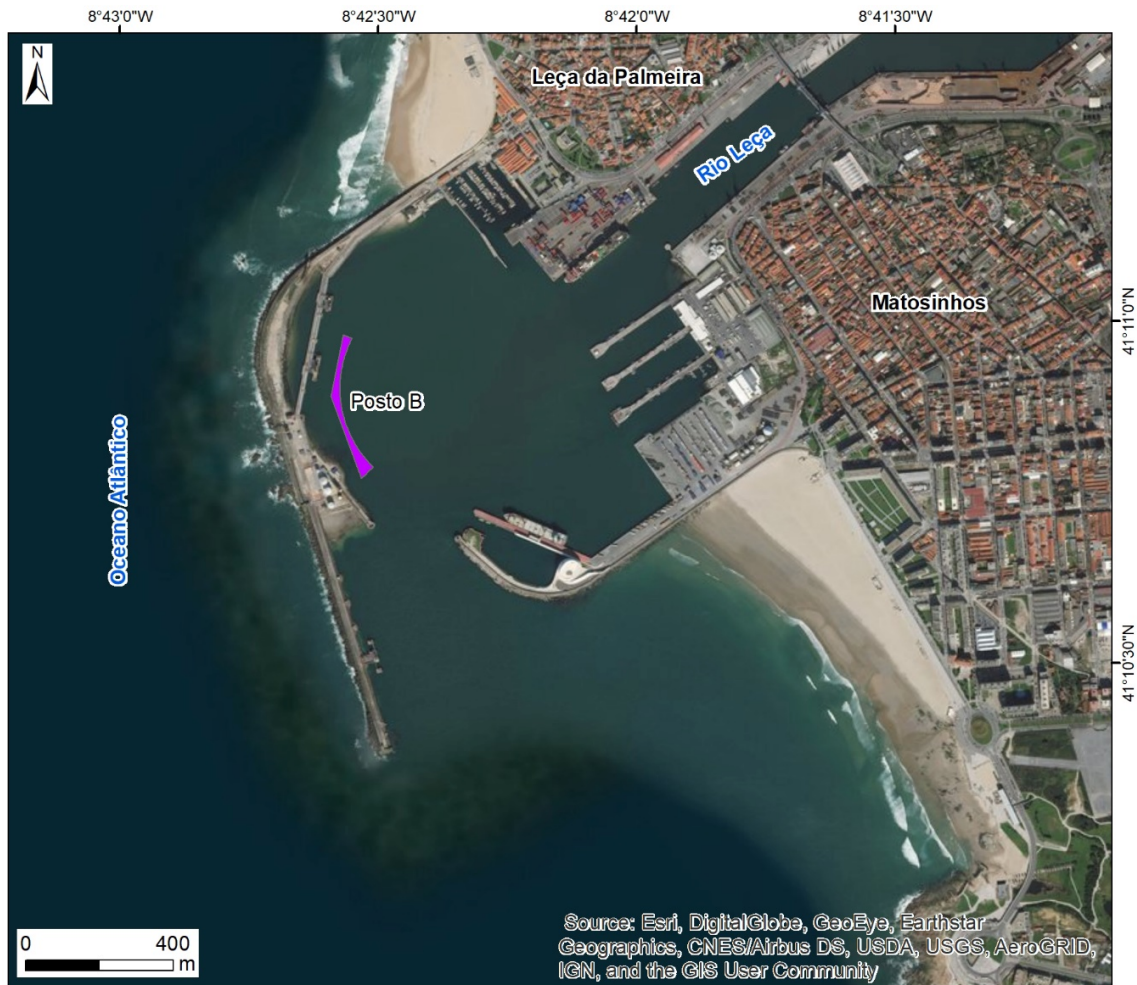


Figura 14 – Localização do Posto B.

Tabela 12 - Características do Posto B.

Localização	Profundidade (m)	Espessura Sedimentos (m)	Profundidade Projeto ZHL (m)	Tipo Sedimentos
Posto B	10,5	1,75	-15,5	Fração Grosseira

Este posto (fig. 14) é caracterizado como o posto com maior movimentação, quer pela capacidade de receber mais produtos que o Posto C, quer principalmente pela tipologia de navios que frequentam o porto, que têm dimensões maiores que o permitido para a atracação no Posto C. Para aceder a esta área os navios têm de utilizar a bacia de rotação, o que indica que a profundidade mínima a garantir é de -15,5m (ZHL) (tab. 12), servindo assim toda a tipologia de navio que circule no anteporto.

No Posto B o valor para a altura de maciço rochoso a remover é de 3,25m, de referir que é das áreas com menor profundidade do Porto de Leixões. A espessura de sedimentos é de 1,75m, encontrando-se em conformidade com outras áreas.

Posto C

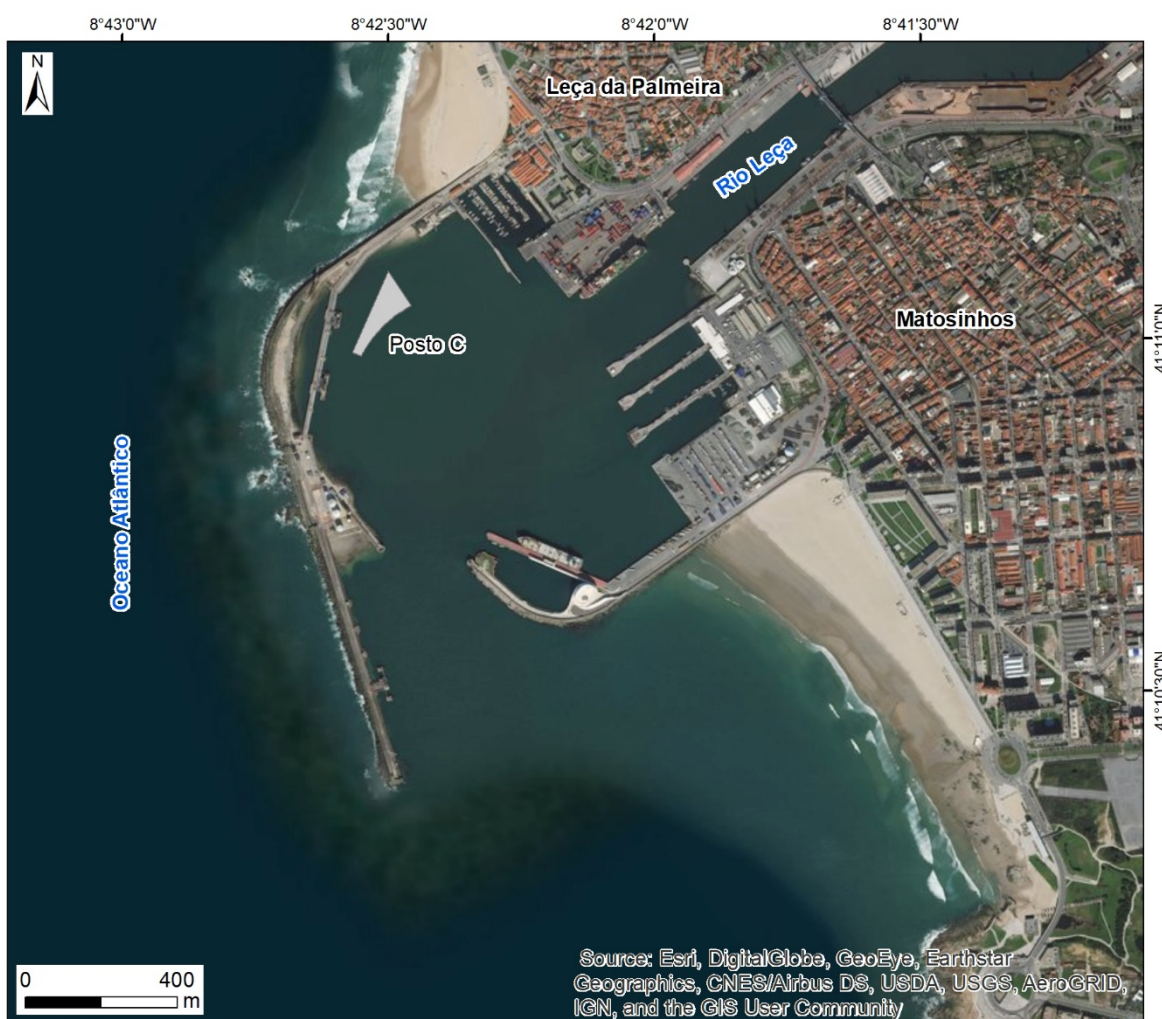


Figura 15 – Localização do Posto C.

Tabela 13 – Características do Posto C.

Localização	Profundidade (m)	Espessura Sedimentos (m)	Profundidade Projeto ZHL (m)	Tipo Sedimentos
Posto C	7,0	0,75	-15,5	Fração Fina

O Posto C (fig. 15) é o posto mais específico dos três em relação à oferta de tipos de combustíveis a descarregar. Devido à proximidade aos baixios existentes junto ao molhe Norte, atualmente verifica-se um condicionamento do acesso de algumas embarcações, sendo que o objetivo para este posto é uniformizar os fundos, permitindo que os navios com material específico para este Posto atracam sem dificuldade, disponibilizando o Posto B para outros navios. As características de projeto são iguais às do Posto B.

O Posto C (tab.13) é a área com menor profundidade do Porto de Leixões e também a área mais abrigada, o que reduz a camada de sedimentos, pois o movimento dos mesmos tende a ser para as áreas mais fundas. Nesta área a altura de maciço rochoso a remover é significativamente maior (7,75m) dado ser uma área que não tem tido intervenções de maior nos últimos anos, sendo esta intervenção a oportunidade de uniformizar esta área com as restantes áreas do anteporto.

Bacia de Rotação Norte/Sul/Este/Oeste



Figura 16 – Localização da Bacia de Rotação.

Tabela 14 – Características da Bacia de Rotação.

Localização	Profundidade (m)	Espessura Sedimentos (m)	Profundidade Projeto ZHL (m)	Tipo Sedimentos
BR Norte	11,5	1,25	-15,5	Fração Fina
BR Este	12,25	4,5		
BR Sul	12,0	2,5		
BR Oeste	12,25	1,5		

A bacia de rotação (fig.16) é a zona mais importante do Anteporto no que concerne à movimentação de navios, pois devido à sua configuração e otimização do espaço, os navios de maiores dimensões têm de efetuar a rotação neste local para conseguirem atracar nos cais interiores, no terminal multiusos, no terminal de cruzeiros e em dois postos de combustíveis.

Estes processos necessitam da garantia que toda a área da bacia de rotação tem uma profundidade mínima de -15,5m (ZHL) (tab. 14). A divisão inicial desta área em quatro áreas de menor dimensão está relacionada com uma grande variedade de cotas ao longo de toda a bacia, o que implica uma observação mais pormenorizada.

A Bacia de Rotação Norte é caracterizada por ser a área menos profunda (11,5m) e com menor espessura de sedimentos (1,25m) do conjunto das quatro, explicada pelo facto de fazer fronteira com a área menos profunda (Posto C) e com o Posto B, que têm valores de espessura de sedimentos mais reduzidos. Em contrapartida é a área da bacia de rotação com maior camada de maciço rochoso a remover.

A Bacia de Rotação Este caracteriza-se como a área mais peculiar do Porto de Leixões, no que concerne às intervenções para rebaixamento, em virtude dos valores da tabela 9 indicarem que só será necessário recorrer à dragagem dos sedimentos. Esta peculiaridade surge com a verificação da existência da antiga foz do rio Leça nesta área, o que aumenta a camada de sedimentos sobrepostos ao maciço rochoso (até 6m), estando o maciço abaixo da cota do projeto numa parte significativa da área estudada. Contudo estes valores não excluem de todo a necessidade de recorrer ao desmonte com explosivos, pois é necessário verificar se os métodos de dragagem conseguem remover com sucesso todos os sedimentos, bem como podem existir zonas que não correspondam à caracterização geral da área da bacia de rotação Este.

A Bacia de Rotação Sul com a análise dos dados fornecidos constata-se que a camada de maciço rochoso a remover na área Sul é de um metro e que existe uma uniformização das espessuras de sedimentos com as áreas limítrofes a Sul.

A Bacia de Rotação Oeste tem as características em relação à profundidade similares às restantes áreas da bacia de rotação, mas tem menor espessura de sedimentos (1,5m) o que indica que a altura de maciço rochoso a remover seja maior, confirmando-se com o aumento do valor para 1,75m.

Terminal Multiusos

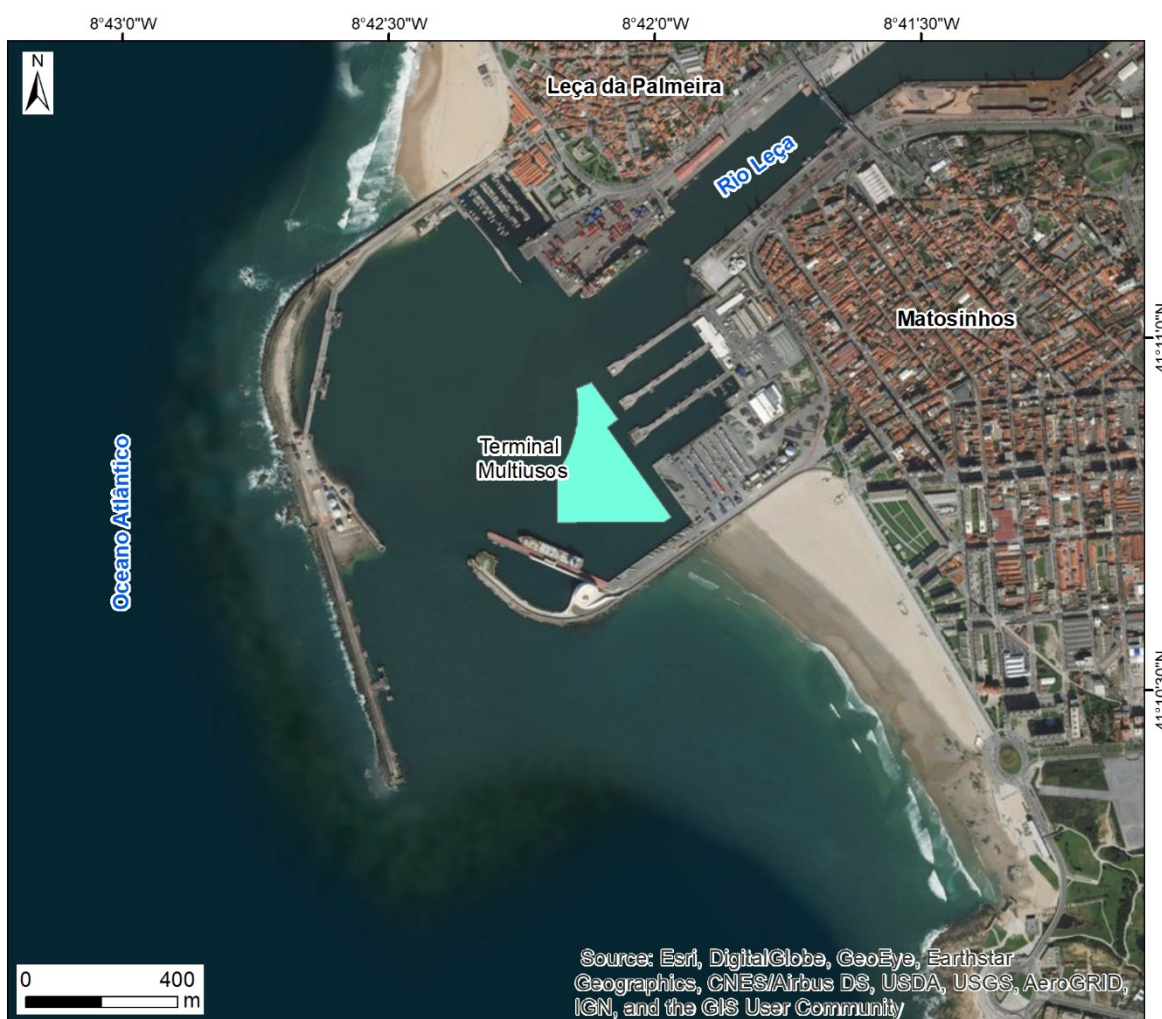


Figura 17 – Localização do Terminal Multiusos.

Tabela 15 – Características do Terminal Multiusos.

Localização	Profundidade (m)	Espessura Sedimentos (m)	Profundidade Projeto ZHL (m)	Tipo Sedimentos
Terminal Multiusos	10,25	1,5	-15,5	Fração Fina

Com a recente modificação deste espaço (fig. 17) e com a sua conversão num espaço multiusos aumentou a diversidade dos navios que atracam nesta posição, bem como o conjunto de manobras necessárias para atracarem. Atualmente está a crescer a sua utilização principalmente por navios do tipo Ro-Ro, existindo também a possibilidade de ser utilizado como apoio ao Terminal de Cruzeiros, quando este último já estiver a ser ocupado por outro navio. A profundidade mínima a garantir é de -15,5m (ZHL) (tab.15) e de referenciar que é uma das áreas

mais protegida do porto, o que permite que o fundo esteja uniformizado a nível de sedimentos, facilitando a caracterização de toda esta área.

O Terminal Multiusos foi recentemente intervencionado para alterar as suas vertentes e transformar no espaço que atualmente existe, mas em relação aos fundos não foi intervencionado. A altura do maciço rochoso a remover é de 3,75m sendo uma das maiores áreas a intervencionar com recurso a explosivos, mesmo existindo uma espessura de sedimentos a remover de 1,5m.

Terminal de Cruzeiros



Figura 18 – Localização do Terminal de Cruzeiros.

Tabela 16 – Características do Terminal de Cruzeiros.

Localização	Profundidade (m)	Espessura Sedimentos (m)	Profundidade Projeto ZHL (m)	Tipo Sedimentos
TC Norte	11,25	1,75	-15,5	Fração Fina

O terminal de cruzeiros (fig. 18) só será intervencionado na área Norte para aumentar a profundidade do fundo para 15,5m (ZHL) (tab. 16), devido a estar numa zona de passagem entre a bacia de rotação e o Terminal Multiusos. Na construção do novo terminal de cruzeiros uniformizou-se os fundos nos -11m (ZHL), o que garante a atracagem e a movimentação dos navios para os quais foi dimensionado, não sendo para isso necessário a reformulação deste local. Esta reformulação só deverá ser feita em conjunto com outras reformulações no porto, pois as

capacidades deste local estão inerentemente relacionadas com a as características de entrada no porto que condicionam o comprimento máximo de navios de cruzeiros.

O Terminal de Cruzeiros Norte representa a típica intervenção na zona do anteporto, pois a camada de maciço rochoso a remover é de 2,5m com uma espessura de sedimentos de 1,75m, em virtude de se localizar junto à passagem para o canal exterior, onde existe uma maior movimentação de sedimentos.

Entrada Quebra-Mar

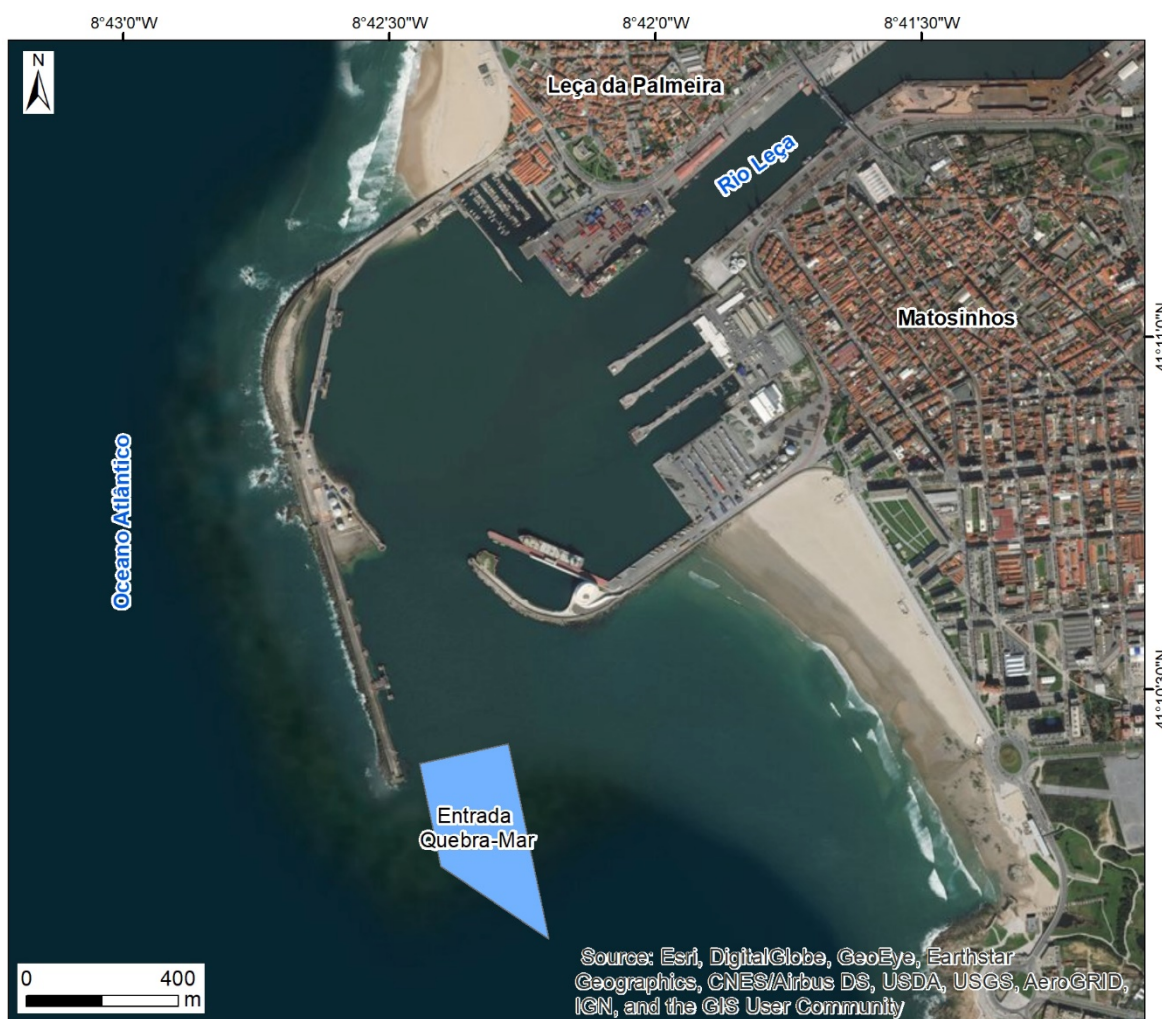


Figura 19 – Localização da Entrada do Quebra-Mar.

Tabela 17 – Características da Entrada do Quebra-Mar.

Localização	Profundidade (m)	Espessura Sedimentos (m)	Profundidade Projeto ZHL (m)	Tipo Sedimentos
Entrada Quebra-Mar	15,75	4,0	-16,85	Fração Grosseira

A Entrada do Quebra-Mar (fig. 19) é o local de passagem de todos os navios que utilizam o Porto de Leixões, sendo que quando os navios utilizam o Posto A, não necessitam de utilizar o anteporto, verificando-se aí uma diferença na profundidade a atingir. Nesta área a cota a atingir é

-16,85m (ZHL) (tab. 17), contudo também é a área onde existem as maiores profundidades, o que significa que é a área onde o volume de rocha a desmontar é menor.

Na Entrada Quebra-Mar o desmonte com recurso a explosivos tende a ser mais pontual, pois a profundidade existente é próxima da profundidade de projeto ou até maior. De referir que existe uma maior deposição de sedimentos vindos do Oceano, que devido às correntes e a esta área ser a ligação entre o Porto de Leixões e o oceano, tendem a depositar-se em maiores quantidades. Esta característica indica a possibilidade de rebaixamento de uma parte significativa desta área com recurso à dragagem.

Entrada Canal Interior



Figura 20 – Localização da Entrada do Canal Interior.

Tabela 18 – Características da Entrada do Canal Interior.

Localização	Profundidade (m)	Espessura Sedimentos (m)	Profundidade Projeto ZHL (m)	Tipo Sedimentos
Entrada Canal	10,75	2,0	-15,5	Fração Fina

A Entrada no Canal interior (fig. 20) é o limite da área que se pretende rebaixar, tornando-se a área que representa o diferencial de cotas entre o anteporto e o porto interior. A cota de projeto são os 15,5m (ZHL) (tab. 18), mas certamente existirão algumas características especiais, pois esta área representa também o curso antigo do rio Leça, o que indica uma área de deposição de uma maior quantidade de sedimentos.

Na Entrada do Canal Interior a altura da camada de maciço rochoso a remover é de 2,75m, o que contrariamente àquilo que seria espectável, os sedimentos não se acumulam em grande quantidade nesta área, pressupondo-se que a força do rio ainda é suficientemente forte e que esta área representa a passagem de uma zona estreita (canal interior) para uma zona larga (anteporto), espalhando assim os sedimentos pelas áreas seguintes. Prevê-se que a dragagem tem de remover cerca de dois metros de sedimentos para expor o maciço rochoso.

4.2.6. Dragagem Inicial/Final

Estima-se que no geral seja necessário dragar três milhões de metros cúbicos de material incoerentes e material rochoso (Consulmar, 2017b), sendo que 40% correspondam a materiais incoerentes dividindo-se entre materiais da classe 1 (areias e seixos) e materiais da classe 2 (argilas e siltes) com quantidades de 158 000m³ e 1 028 000m³ respetivamente (tabela 19). Ou seja, estima-se que o material rochoso ronda os 1 800 000m³ e que 20% possa ser reutilizado para a construção do núcleo do prolongamento do quebra-mar exterior. O material de classe 1 vai ser utilizado para alimentação da deriva litoral a Sul do porto de Leixões sendo recolhido por uma draga de sucção. O material de classe 2 vai ser dragado com recurso a uma draga de corte e sucção, devido à maior coesão das partículas deste tipo de material.

É importante referir que para o cálculo das quantidades de material a dragar, foi utilizado um fator de empolamento de 1,5.

Tabela 19 – Tipo de material a dragar e respetivas quantidades (Consulmar 2017b).

Material		Volume Previsto (m ³)	Percentagem Total (%)
Incoerente	Grosseiro (areias e seixos)	158 000	5
	Finos (siltes e argilas)	1 028 000	35
	Subtotal	1 186 000	40
Rochoso	Reaproveitáveis	364 000	12
	Não reaproveitáveis	1 445 000	48
	Subtotal	1 809 000	60
Total		2 995 000	100

É importante referir que existirá uma dragagem dos sedimentos antes de serem iniciados os trabalhos de furação, com o objetivo de aproveitar esses materiais para reposição de areal o que reduzirá a altura de material a desmontar, aumentando a coluna de água sobre o maciço. Esta dragagem expõe o maciço, facilitando os trabalhos de perfuração, minimizando os erros

associados, reduzindo a camada a desmontar, permitindo reduzir a quantidade total de explosivos a utilizar.

Durante a dragagem para remover o material desmontado, o mesmo vai ser colocado no porão do batelão, de forma a poder selecionar os materiais a serem integrados no núcleo do prolongamento do quebra-mar exterior (estimando-se esse valor a rondar os 350 m³) (APDL-EIA, 2018).

4.2.7. Desmorte Tipo

O ciclo de desmorte é composto pela furação, o carregamento dos explosivos, a detonação, a dragagem e o transporte do material dragado.

Para efetuar a furação e colocação dos explosivos nos furos vão ser utilizadas plataformas flutuantes com torres de perfuração de acordo com a figura 21.



Figura 21 – Plataforma de furação (<https://boskalis.com/about-us/boskalisrockfall.html>).

A malha padrão de referência dos trabalhos executados em 2007 possui duas fiadas com doze furos cada, ou seja, vinte e quatro furos no total. O espaçamento entre furos é de dois metros e o espaçamento entre fiadas pode variar entre um metro e meio e dois metros, de acordo com o tipo de maciço a desmontar e com a aferição do operador. Ou seja, a bancada tipo tem uma frente de vinte e quatro metros e uma largura de quatro metros. Este dimensionamento teve como objetivo conseguir conciliar cada ciclo de desmorte com o tempo disponível e otimizado,

dados que se existir mais tempo disponível é possível aumentar o número de fiadas a desmontar, e vice-versa. Esta versatilidade é importante para conciliar o espaço e o tempo disponível.

4.2.8. Diâmetro Furação

Jimeno (IGME, 1987) elaborou uma tabela (tab. 20) em que atribui um diâmetro de perfuração, de acordo com a altura de bancada. Esta altura da bancada é o valor da altura do maciço rochoso a desmontar.

Tabela 20 – Relação entre o diâmetro de perfuração com a altura da bancada (Jimeno, 1987).

Altura da Bancada (m)	Diâmetro de Perfuração (mm)
0-3	30
2-5	40
3-8	51
5-15	70
6-20	100

O aumento do diâmetro do furo permite aumentar a produção do material desmontado, podendo ser aumentada a malha, bem como se diminui os desvios da furação, mas por sua vez é fundamental aumentar a concentração de carga no furo. Simplificando, quando se opta por um diâmetro de furo maior, a distância entre furos aumenta, o explosivo tem de ser de maiores dimensões, aumentando a concentração de carga no furo, mas por sua vez os desvios de furação diminuem. A principal vantagem é garantir a geometria do desmonte, bem como garantir que o desmonte ocorre com sucesso, sendo neste último caso a preocupação em relação às vibrações produzidas.

Tabela 21 – Relação da altura de bancada com o diâmetro de furação.

Localização	Altura da Bancada (m)	Diâmetro de Perfuração (mm)	
		Teórico	Otimizado
Posto A	0,5	30	76
Posto B	5,0	40	76
Posto C	8,5	70	76
BR Norte	4,0	51	76
BR Este	3,25	51	76
BR Sul	3,5	51	76
BR Oeste	3,25	51	76
Terminal Multiusos	5,25	51	76
TC Norte	4,25	51	76
Entrada Porto	4,1	51	76

De acordo com a tabela 21 foi determinado o diâmetro de perfuração teórico, sendo que no caso de sobreposição de valores, optou-se pelo maior diâmetro, quer pela diminuição dos desvios de perfuração, quer pela diminuição do sucesso do desmonte em meios aquáticos (malha menor, menor concentração de explosivos).

Optou-se pelo maior valor do diâmetro de perfuração, de forma a diminuir o valor do desvio de furação. No histórico de desmontes do porto de Leixões, o diâmetro utilizado foi o de 76mm devido à capacidade dos equipamentos que o empreiteiro possui, bem como a garantia de menores desvios de furação e a utilização de malhas maiores que a malha teórica.

4.2.9. Sobrefuração

O valor referenciado por Jimeno (IGME, 1987) é entre 50 a 100% da distância entre furos, sendo valor mínimo a utilizar entre 0,8 a 1m. Como no caso desta obra é mais favorável obter profundidades maiores, garantindo a profundidade de projeto a sobrefuração mínima é de um metro (tab. 22). O caso de o desmonte não ser bem-sucedido adquire bastante gravidade.

Tabela 22 – Altura total do furo.

Localização	Tipo Maciço	Altura Bancada (m)	Sobrefuração (m)	Altura do Furo (m)
Posto A	Pouco Alterado (W2)	0,5	1,0	1,5
Posto B		5,0	2,0	7,0
Posto C		8,5	2,0	10,5
BR Norte		4,0	1,5	5,5
BR Este		3,25	1,0	4,5
BR Sul		3,5	1,0	4,5
BR Oeste		3,25	1,0	4,5
Terminal Multiusos		5,25	2,0	7,5
TC Norte		4,25	1,5	6,0
Entrada Porto		4,1	1,5	5,5

Com a análise das tabelas anteriores, verifica-se que existe uma variação significativa nas dimensões do furo representativa de cada área a desmontar, sendo que existe uma uniformização neste ponto no interior da área da bacia de rotação. Com base nesta uniformização, para determinação das concentrações de carga consegue-se separar a bacia de rotação em dois novos grupos, a BR Norte e as restantes áreas.

4.2.10. Carga Específica

A carga específica é bastante relevante para o processo de otimização, pois é um excelente indicador do consumo de explosivos que está a ser efetuado. Relacionando o valor obtido com a bibliografia consegue-se determinar se o valor é aceitável, ou se necessita de ser mais ajustado às características da intervenção. O valor final tem por base a relação entre a quantidade total de explosivos utilizados e o volume de material desmontado.

4.2.10.1. Concentração de Carga por Tipo de Draga

Existem segundo Ribeiro (2011) dois tipos de dragas, as dragas de ação mecânica e as dragas de sucção em que a principal diferença está relacionada com o tipo de material a ser dragado, que devido às suas características e dimensão podem não ser passíveis de ser dragados por sucção. Segundo Ribeiro (2011) as dragas a serem utilizadas após a operação de desmonte com recurso a explosivos são a draga de balde, a draga com retroescavadora/pá frontal e a draga de Alcatruzes.

A draga de balde tem uma grua instalada num batelão que desce até ao fundo e faz a recolha do material, tendo maior versatilidade ao nível da descarga do material, pois podem colocar facilmente noutra batelão ou no mesmo batelão.

A Draga com escavadora consiste num batelão com uma retroescavadora instalada que dependendo da dimensão do braço tem maior ou menor alcance. Neste caso devido ao movimento de recolha o sistema é possível em todo o tipo de materiais e também tem alguma versatilidade em relação à descarga do material.

O tipo de draga varia a concentração de carga a utilizar, pois o método de recolha é diferente, com base nas opções do projeto, em que foi selecionada a dragagem com recurso a escavadora originou-se a tabela 23 que indica um valor recomendável para a concentração de carga do desmonte.

Tabela 23 – Concentração de carga específica com recurso a dragagem com escavadora.

Tipo de Draga	Autor	Concentração Específica (kg/m ³)
Escavadora	Jimeno	0,5-2,5
	Hermans	0,6-1,8

4.2.10.2. Carga específica por Tipo de Maciço

Tendo por base as características do maciço rochoso existem várias indicações para o valor da carga específica teórica, sendo que o maciço rochoso é um W2 F4/F5 e considerado pouco alterado.

De acordo com Hermans (2005) a concentração de carga para desmontes subaquáticos deve compreender-se entre 0,9-3,0 kg/m³, sendo o valor de 0,9 para maciços muito alterados e 3,0 para maciços sãos. Para Jimeno (IGME, 1987) o valor deve estar compreendido entre 0,5-3,0. Leguizamon (2015) indica que o valor deve ser compreendido entre 0,6 e 1,5.

Em relação à intervenção realizada em 2006 o intervalo de valores para a carga específica foi entre 1,1 a 1,2 kg/m³.

Presume-se que na futura intervenção o valor da carga específica seja ligeiramente superior, inserindo-se num intervalo entre 1,1 a 1,5 kg/m³.

4.3. Planeamento do Desmorte

4.3.1 Condicionamentos do Tráfego

Sendo a circulação das embarcações nos portos um fator chave para a economia nacional, as possíveis variações no sucesso destas operações constituem um alerta para o normal funcionamento das organizações nacionais. O Porto de Leixões não foge à regra, apresentando então uma lista de condicionantes à execução das obras de desmorte e de dragagem, sendo necessário conciliar todas as operações com o normal funcionamento das atividades portuárias, minimizando as potenciais perturbações causadas. As perturbações estão relacionadas com a movimentação das dragas e dos batelões bem como com o posicionamento dos batelões nos locais a intervencionar, pois este posicionamento impede a passagem das restantes embarcações.

Com a informação dos processos de furação e desmorte bem como da circulação interna dos navios estabelecem-se quatro tipos de zonas:

- 1 - Prioritário – Operações bastante condicionadas.**
- 2 - Intermédio - Operações condicionadas.**
- 3 - Baixo - Acesso condicionado temporariamente.**
- 4 - Pontual – Acesso condicionado pontualmente.**

1 – Prioritário (Cor-de-Rosa) – As operações estão bastante condicionadas, representa as zonas fundamentais do porto, como são o caso da bacia de rotação, a entrada no quebra-mar e a entrada no canal, que são os pontos de passagem obrigatórios para todas as embarcações.

2 – Intermédio (Amarelo) - As operações estão condicionadas, mas existem alternativas viáveis quer à atracagem, quer à passagem de algumas tipologias de navios por outras zonas. Não afeta a navegação dos navios de menores dimensões que pretendem entrar no canal.

3 - Reduzido (Azul) - Acesso condicionado, associados a áreas com pouca utilização, não existem prejuízos de maior ao condicionar a zona, pois existem alternativas.

4 – Pontual (Verde) – Acesso condicionado, contudo a área só é utilizada para acesso à Marina, ou seja, por embarcações de recreio, que podem ser reajustadas facilmente devido à sua reduzida dimensão e mobilidade.

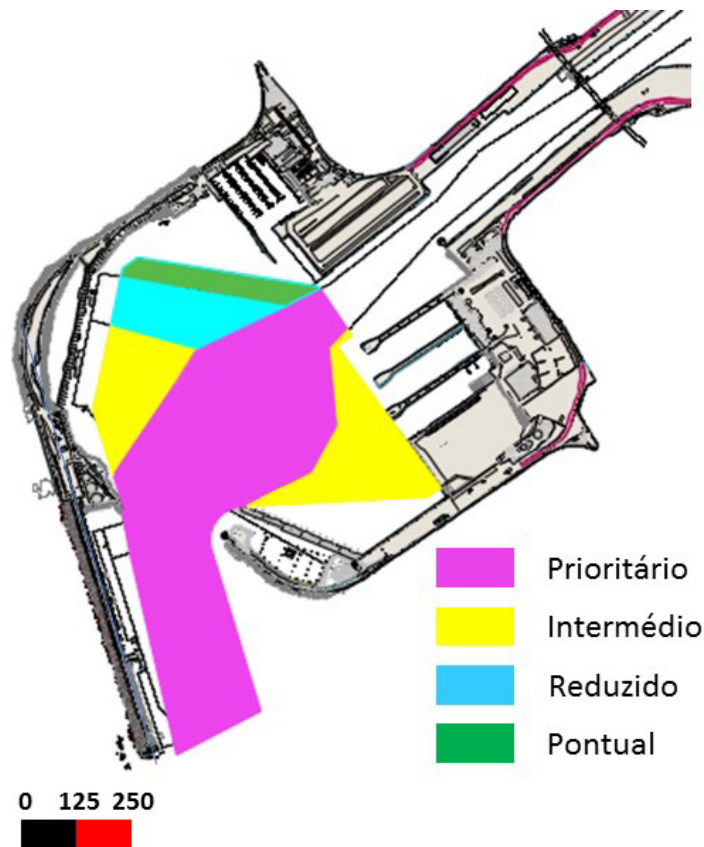


Figura 22 - Diferentes zonas de tráfego durante o período das operações de rebaixamento.

Entende-se pelo prioritário as zonas limitadas a cor-de-rosa na figura 22, principalmente devido à elevada movimentação de embarcações, em que se torna impossível conciliar quer com a atividade de desmonte, quer com a movimentação das embarcações afetas ao desmonte. Assim sendo o canal de entrada do Porto de Leixões, bem como a bacia de rotação, o Posto A, o acesso ao terminal multiusos e a entrada no canal são consideradas como zonas prioritárias, devido a serem zonas de passagem obrigatória de todas as embarcações que circulam no interior do porto. Estas zonas em alguma altura terão de ter o acesso completamente interdito, sendo de optar pela furação nos períodos de menor movimento (noite), e complementado com o desmonte e recolha de material nas primeiras horas da manhã. Com esta conciliação, é possível ter as passagens desimpedidas durante os períodos de maior movimento e até mesmo concentrar todos os movimentos num determinado período.

As zonas delimitadas como intermédio, correspondem às zonas de acesso aos posto B e Posto C, pois têm a alternativa temporária de acesso ao Posto A, bem como a zona de acesso ao terminal de cruzeiros, pois não existe frequência diária àquela zona. Estas zonas devem servir como complemento aos processos de furação e desmonte nas zonas prioritárias, quer pela sua proximidade a essas zonas, quer por serem zonas que requerem também o condicionalismo da

navegação. Assim, é possível efetuar os processos durante os períodos diurnos, deixando os períodos noturnos para as zonas prioritárias.

É de salientar que algumas zonas podemos considerar zonas de baixa prioridade, pois apesar de se encontrarem em zonas prioritárias, o desmonte com explosivos não é necessário, sendo só necessária insistir na duração da dragagem, pois o maciço já se encontra abaixo da profundidade projetada.

4.3.2. Turnos Diários

Com base nos registos da anterior intervenção do rebaixamento do canal e da bacia de rotação, identificam-se dois turnos exequíveis para realização da perfuração e carregamento da pega, e identificam-se três alturas do dia para efetuar o desmonte. Em relação aos turnos, estão pré-definidos o turno diário (7h-19h) e o turno noturno (19h-7h), que contém um tempo máximo de doze horas permitindo conciliar um ciclo de desmonte completo. De acordo com a prioridade das zonas a desmontar existe a possibilidade da criação de três turnos de oito horas cada, diminuindo assim a área a desmontar, mas que permite conciliar uma zona prioritária (período noturno) com duas zonas com outra caracterização.

Em relação ao rebentamento da pega, existem três períodos possíveis de executar, o período da manhã (7h-9h), o período do almoço (12h-14h) e o período do fim do dia (17h-19h), sendo selecionado de acordo com a finalização das operações de carregamento e furação, quer sejam no ciclo de doze ou oito horas, devem ser sempre realizados dentro dos períodos estipulados. As alturas do desmonte sugeridas pela Agência Portuguesa do Ambiente são a parte da manhã e do final do dia, contudo, em situações devidamente justificadas é possível a realização do desmonte no período do almoço.

Devido às restrições do ruído durante o período noturno só a detonação das pegas é que não se deve realizar neste período, ficando a aguardar as primeiras horas da manhã para detonar.

A atividade normal do Porto de Leixões compreende ruído inerente à movimentação de cargas e da deslocação de veículos, deste modo, as fases de perfuração e colocação das cargas são passíveis de se realizar em qualquer dos turnos definidos, pois o seu valor de ruído não ultrapassa os valores dos procedimentos normais portuários.

A fase de detonação deve ser realizada durante o dia, primeiramente deve cumprir a legislação do ruído, depois deve ser realizada com boas condições atmosféricas quer para ser visível toda a área a desmontar, quer para observar todas as estruturas envolventes, que em caso de algo de anormal acontecer ser facilmente detetado.

4.3.3. Condicionamentos Ambientais

Durante a fase de construção a poluição atmosférica está relacionada com as operações dos equipamentos, não sendo um incremento relevante na atividade do porto devido à reduzida dimensão dos equipamentos.

Em relação ao ruído só se prevê uma alteração no momento da detonação, pois os restantes ruídos são sobrepostos pela normal atividade portuária.

A área de Leixões corresponde ecologicamente a um ecossistema costeiro de transição, embora o seu estado artificial atual mitigue as suas principais funções ecológicas. As comunidades zooplancónicas e os macroinvertebrados bentónicos já estão adaptadas às atividades portuárias, contudo existe uma ocupação sazonal das comunidades piscícolas bem como o registo de ocorrência de algumas espécies de cetáceos (APDL-EIA, 2018).

4.4. Controlo das Vibrações – Identificação das Estruturas

Com a implementação da Norma Portuguesa 2074 em Junho de 2015 surge a obrigatoriedade legal de avaliar a influência das vibrações provocadas pelos desmontes subaquáticos a efetuar no porto nas estruturas vizinhas. Esta avaliação tem por base os valores limites legais, em que os valores das operações de desmonte não podem ser superiores aos valores limites, de acordo com o tipo de estrutura.

Com a aplicação da norma é necessário verificar e classificar todas as estruturas do porto de Leixões e da comunidade envolvente. Nenhuma estrutura é negligenciada, contudo pode ser avaliada com os dados recolhidos de um sismógrafo geral, enquanto que nas estruturas mais sensíveis, sugere-se ter um equipamento próprio.

São identificados como estruturas sensíveis:

- . O oleoduto da Marginal de Leça da Palmeira, com início no Posto A e que se estende até à refinaria da Petrogal.
- . O Forte de Leça da Palmeira, localizado junto aos edifícios da administração da APDL e junto da marina de recreio.
- . O Padrão do Bom Jesus de Matosinhos, localizado próximo da entrada para visitas ao Terminal de Cruzeiros.
- . O Viaduto da A28.

A Direção Geral do Património Cultural classifica o Forte de Leça da Palmeira, o Padrão do Bom Jesus e o Mercado Municipal como Património Classificado, o que uma justificação suficiente para os considerar estruturas sensíveis. O oleoduto também se considera como estrutura sensível devido ao risco que as vibrações podem provocar na estrutura, bem como a existência de risco de derrame de substâncias que circulam no seu interior. O viaduto é uma estrutura recentemente

intervencionada e também regularmente monitorizada, contudo devido ao seu historial de problemas e devido à importância da rede viária no dia-a-dia das comunidades envolventes também é considerado como estrutura sensível.

Os valores limite são (tab. 24):

Tabela 24 – Valores limite recomendados para a velocidade de vibração (de pico), em mm/s (NP2074/2015).

Tipo de Estrutura	Frequência Dominante, f		
	$f \leq 10\text{Hz}$	$10 < f \leq 40\text{ Hz}$	$f > 40\text{ Hz}$
Sensíveis	1,5	3,0	6,0
Correntes	3,0	6,0	12,0
Reforçadas	6,0	12,0	40,0

Para reduzir o risco de danos nas zonas dos oleodutos, o projeto sugere que o desmonte seja feito através de processos mecânicos, evitando o risco de utilização de material explosivo junto a material altamente inflamável.

Na generalidade é possível utilizar um sistema de produção de bolhas de ar, que cria uma interface entre o meio aquático e o meio aéreo, que reduz os impactos da onda de choque nas estruturas e nos seres vivos. Esse sistema de bolha é criado através de uma ou várias cortinas de bolhas de ar colocadas no fundo, em que é injetado ar comprimido. A quantidade de ar injetado e o espaçamento entre as bolhas influenciam a eficácia deste processo, sendo que quanto maior a quantidade de ar injetado na mangueira, maior o número de bolhas, logo, maior será o número de interfaces, logo menor será o impacto da onda de choque.

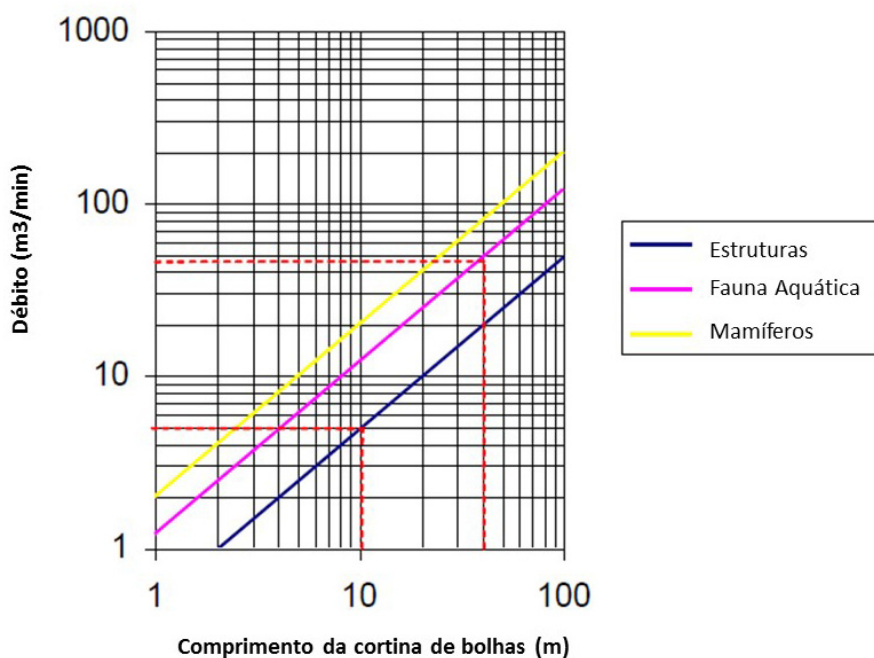


Figura 23 – Gráfico do débito de ar comprimido em função do tipo de proteção (Adaptado de Hermans, 2005).

Hermans (2005) criou um gráfico logarítmico (fig. 23) em que relaciona o comprimento da cortina de bolhas, com o débito de ar para criação das bolhas de ar, chegando à conclusão que o débito de 8 l/s/m na generalidade é suficiente para minimizar os efeitos das ondas de choque nas estruturas, na fauna aquática e nos mamíferos. Para garantir a total proteção da fauna marítima e dos mamíferos marinhos é necessário um débito de 20 l/s/m e 33 l/s/m respetivamente.

5 - Conclusões

(página propositadamente em branco)

5. Conclusões

O presente trabalho procurou contribuir para a otimização de metodologias de desmonte subaquático de maciços rochosos, temática que é pouco abordada a nível nacional, com reduzida execução de trabalhos científicos. O caso de estudo foi o porto de Leixões, onde se encontra em preparação uma empreitada que incluirá o desmonte de aproximadamente 2 000 000 m³ de maciço rochoso, valor superior à intervenção efetuada em 2007.

Procurou-se desenvolver uma metodologia com base nas informações existentes para definir diferentes áreas de desmonte, consoante as informações geométricas e geológicas dos locais. Esta metodologia permitiu otimizar os processos e os meios envolvidos, tendo como informação de base as sondagens e as intervenções efetuadas em 2007, bem como o cumprimento do Estudo de Impacte Ambiental (EIA), a Declaração de Impacte Ambiental (DIA) e a NP2074.

Tendo por base que:

. As operações de desmonte de maciços rochosos são operações complexas, que necessitam de uma boa avaliação do maciço rochoso existente, bem como de uma correta monitorização durante a execução.

. A falta de informação inicial e a complexidade das obras a executar são situações que contribuem para o aumento dos custos finais do projeto, que podem ser minimizados com a aplicação da metodologia desenvolvida.

. A consistência da litologia ao longo das diversas áreas é um bom presságio para os cálculos da geometria do desmonte e respetivas cargas a aplicar.

. Não existem preocupações em relação à espessura dos sedimentos, devido ao planeamento de uma dragagem inicial.

. Não existem preocupações de maior devido ao ruído e à poluição atmosférica, em virtude de estarem enquadradas nas normais atividades portuárias.

É possível concluir que:

O planeamento e a definição das diferentes áreas de tráfego facilitam a coordenação entre a execução dos desmontes e as atividades portuárias. Assim foram definidos quatro tipos de zonas:

1 – Prioritário – Operações bastante condicionadas.

2 - Intermédio - Operações condicionadas.

3 - Baixo - Acesso condicionado temporariamente.

4 – Pontual – Acesso condicionado pontualmente.

No que concerne aos turnos foram definidos três períodos possíveis para efetuar o rebentamento das pegs:

- . Período da manhã (7h-9h).
- . Período do Almoço (12h-14h).
- . Período do fim do dia (17h-19h).

. O diâmetro de furação preferencial será de 76mm, tendo por base o dimensionamento projetado e a experiência das intervenções anteriores no porto.

. A altura do furo tem um valor mínimo estimado de 1,5m (Posto A) e um valor máximo estimado de 10,5m (Posto C).

. O valor da carga específica será entre 1,1 a 1,5 kg/m³, tendo como referência as intervenções anteriores e sabendo que devido à maior profundidade do maciço, as condições deverão ser melhores do que nas intervenções anteriores.

. O sucesso do dimensionamento do desmonte reduz a necessidade de efetuar desmonte secundário para cumprir com as cotas projetadas, que quando realizado aumenta o tempo despendido e reduz as janelas de tempo para a movimentação de navios no porto.

Desenvolvimentos Futuros

Apesar de constituir uma abordagem teórica, seria importante e cientificamente relevante, acompanhar o trabalho da empreitada, com o objetivo de validar a metodologia proposta, com vista à sua contínua melhoria.

Seria interessante recolher dados de outras operações fluviais e marítimas, procurando sistematizar e compilar informação e com isso contribuir para a otimização de metodologias.

O acompanhamento da futura intervenção no Porto de Leixões poderia constituir uma importante oportunidade para recolha e processamento de dados na área do desmonte subaquático.

Recomenda-se que os estudos futuros tenham em conta:

- . O aumento das dimensões dos navios e o aumento das exigências das infraestruturas portuárias.

- . A informação escassa especializada, a nível nacional e internacional, sobre desmonte de maciços rochosos em meios subaquáticos.

- . A otimização das operações de desmonte, que têm rendimentos bastante reduzidos quando comparados com as mesmas operações em meios terrestres.

- . A recolha e registo de dados dos desmontes subaquático em quantidade e qualidade, permitindo a sua fácil interpretação e processamento em futuros estudos científicos.

6 - Referências Bibliográficas

(página propositadamente em branco)

6. Referências Bibliográficas

- AECI (1981). Air Blast. Explosives Today. Series 2. Nº 24.
- Afonso M.J. (2003) Hidrogeologia de rochas graníticas da região do Porto (NW de Portugal). Cadernos Laboratório Xeolóxico de Laxe, 28: 173-192.
- Afonso M.J., Chaminé H.I., Gomes A., Teixeira J., Araújo M.A., Fonseca P.E., Carvalho J.M., Marques J.M., Marques da Silva M.A. & Rocha F. (2004). Cartografia geológica e geomorfológica estrutural da área metropolitana do Porto: implicações na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Xeográfica: revista de xeografía, territorio e medio ambiente, Santiago de Compostela, 4: 101-115.
- Afonso, M.J. (2011). Hidrogeologia e hidrogeoquímica da região litoral urbana do Porto, entre Vila do Conde e Vila Nova de Gaia (NW de Portugal): implicações geoambientais. Universidade Técnica de Lisboa. (Tese de Doutoramento).
- APDL-Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo. (2018). Estudo de Impacte Ambiental das Acessibilidades Marítimas do Porto de Leixões - Resumo Não Técnico. Leça da Palmeira. (Relatório Técnico).
- APDL-Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A. (2016). Relatório de Gestão e Demonstrações Financeiras. Leça da Palmeira: APDL.(Relatório Técnico).
- APDL-Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A. (2018). Estudo de Impacte Ambiental das Acessibilidades Marítimas do Porto de Leixões. Leça da Palmeira: APDL. (Relatório Técnico).
- Araújo M.A. (1991). Evolução Geomorfológica da Plataforma litoral da região do Porto. Porto: FLUP. (Tese de Doutoramento).
- Araújo M.A., Gomes A.A., Chaminé H.I., Fonseca P.E., Gama Pereira L.C. & Pinto de Jesus A. (2003). Geomorfologia e geologia regional do sector de Porto–Espinho (W de Portugal): implicações morfoestruturais na cobertura sedimentar cenozóica. Cadernos Laboratório Xeolóxico de Laxe, 28:79-105.
- Atchison, T. (1968). Fragmentation principles. In: Surface Mining. New York: AIME.
- Bender, W. L. (1999). The Fundamentals of Blast Design. In: Back to Basics. International Society of Explosives Engineers.
- Bernardo, P. (1995). Dimensionamento e Simulação de Redes de Ventilação Mineira. Lisboa, IST. (Tese de Mestrado)
- Bernardo, P. (2004). Impactes Ambientais do Uso de Explosivos na Escavação de Rochas, com Ênfase nas Vibrações. Lisboa, IST. (Tese de Doutoramento).
- Bhandari, S. (1997). Engineering Rock Blasting Operations. A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- BMA-Billiton Mitsubishi Association (2014). Dredging and Blasting Environmental Management Plan. BMA.
- Chaminé H.I., Gama Pereira L.C., Fonseca P.E., Noronha F. & Lemos de Sousa M.J. (2003). Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto–Albergaria-a-Velha–Coimbra–Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal). Cadernos Laboratório Xeolóxico de Laxe, 28: 37-78.
- Cleto, J. (1998). Porto de Leixões. Leça da Palmeira: Administração dos Portos de Douro e Leixões.
- CNUCD - Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento. (2017). Review of Maritime Transport. United Nations.

-
- Comissão Europeia. (2013). Plano de Ação para uma Estratégia Marítima na Região Atlântica. União Europeia.
- Comissão Europeia. (2016). Commission Staff Working Document - on the Implementation of the EU Maritime Transport Strategy 2009-2018. Bruxelas: Comissão Europeia.
- Consulmar. (2017b). Projeto das Acessibilidades Marítimas do Porto de Leixões - Projeto Execução. (Relatório Técnico).
- Departement of Transport and Regional Economics. (2015). Study on the Analysis and Evolution of International and EU Shipping. Antuérpia: University of Antwerp. (Relatório Técnico)
- DGPM - Direção-Geral de Política do Mar. (Atualização 2015). Estratégia Nacional para o Mar 2013-2020 - Anexo B. Lisboa.
- Dinis da Gama, C. (1988). Recomendações Técnicas para Realização de Desmontes com Explosivos em Pedreiras e Minas a Céu Aberto. Lisboa: DGGM.
- Dinis da Gama, C. (2003). Elementos de Dinâmica das Rochas. 1º Curso Sobre Explosivos para Responsáveis Técnicos de Pedreiras e Obras de Escavação. Lisboa: Centro de Geotecnia do IST.
- ENM – Estratégia Nacional para o Mar (2013). Estratégia Nacional para o Mar 2013-2020. Governo de Portugal, Lisboa, 73 p. [<https://www.portugal.gov.pt/media/1318016/Estrategia%20Nacional%20Mar.pdf>] consultado em março de 2018.
- FAMRT - Federal Agency for Marine and River Transportation. (2015). Draft Strategy on the Development of Russian Seaport Infrastructure Till 2030. Moscovo: FAMRT. (Relatório Técnico).
- Ferreira, A. B. (2015). Estratégia Marítima, Quo vadis?. Revista Militar, Empresa da Revista Militar, Lisboa, 2567:1039-1048.
- Fonseca, A. (2008). O Transporte Marítimo de Mercadorias. Porto: FEUP. (Dissertação de Mestrado).
- Gomes, L., Carneiro, G., & Vieira, A. (2007). Apontamentos Desmonte de Maciços Rochosos I. Porto: Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto. (policopiado)
- Gustafson, A., Johansson, D., & Schunnesson, H. (2016). Face to Surface, A Fragmentation Study. Lulea, Suécia: Lulea University of Technology.
- Gustafsson, R. (1973). Swedish Blasting Technique. Gothenburg: SPI, Editor.
- Hermans, F. (2005). L'utilisation des Explosifs en Milieu Sous-Marin. [http://www.academia.edu/25059029/L'utilisation_des_Explosifs_en_Milieu_Sous-Marin ; consultado em Janeiro de 2018]
- IADC - International Association of Dredging Companies. (2016). Underwater Drilling & Blasting. Fact About (An Information Update from the IADC). Holanda.
- IGME - Instituto Geológico y Minero de España. (1987). Manual de Perforacion y Voladura de Rocas. Madrid: IGME.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (1981). Basic geotechnical description of rock masses. Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 18:85-110.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (2007). The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: Ulusay, R. & Hudson, J.A. (eds.), suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM. Ankara, 628 p.

-
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (2015). The ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 2007-2014. In: Ulusay, R. (ed.), suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM. Springer, Berlin, 293 p.
- Jimeno, C., & Dinis da Gama, C. (1993). Rock Fragmentation by Blasting. 4th International Symposium of Rock Fragmentatio by Blasting. Viena: A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- Kolsky, H. (1963). Stress Waves in Solids. New York: Dover Publications.
- Kuzmenko, A., Hashimoto, K., & Tabuchi, M. (1993). Experimental Study on the Effects of Explosive Performance on Rock Frature. Viena.
- Leguizamon, O. J. (2015). Los Explosivos en Ingenieria y su Empleo en Voladuras. Bogotá, Colômbia: Universidad Militar Nueva Granada. (Tese de Graduação).
- NP EN 2074 (2015): Avaliação da influência de vibrações impulsivas em estruturas. Instituto Português da Qualidade (IPQ).
- NTC - National Transport Comission - Australia. (2011). National Ports Strategy. Australia: Infrastructure Australia.
- OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (2011). Strategic Transport Infrastructure Needs to 2030. OCDE.
- Pereira, P. M. (2001). Análise de Vibrações Provocadas por Desmontes Subaquáticos, Aplicação ao Cais de Alcântara. Lisboa: Instituto Superior Técnico. (Dissertação de Mestrado)
- Pereira. (1992). Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:200 000. Folha 1. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Persson, P. (1990). Fragmentation Mechanics. 3rd International Symposium of Rock Fragmentation by Blasting. Brisbane: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Reyes, C. (2007). Underwater Rock Blasting for Dredging. Journal of Dredging Engineering, 8, 1-10.
- Ribeiro, T. (2011). Processos de Construção e Fiscalização de Obras Portuárias – Estudo de Caso. Porto: FEUP. (Dissertação de Mestrado).
- Rosenthal, M. F., & Morlock, G. L. (1987). Blasting Guidance Manual. USA: US Department of the Interior.
- Rossmannith, H., Chongfeng, X., Knasmillner, E., & Wegner, J. (1993). Effects of Stress Waves on Pre-Damaged Interfaces in Rock Mass. IN: 4th International Symposium of Rock Fragmentation by Blasting. Viena: A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- Stopford, M. (1997). The Global Pattern of Maritime Trade. In: M. Stopford, Maritime Economics (p. 253 a 284). London
- TECNASOL (2004). Prospecção Geológica no Anteporto e no Canal de Acesso à Doca Nº4 do Porto de Leixões - Relatório. Venda Nova. (relatório inédito)
- Tripathy, G., & Shirke, R. R. (2015). Underwater Drilling and Blasting for Hard Rock Dredging in Indian Ports - A Case Study. International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering (ICWRCOE 2015). Índia: Elsevier.

Sites:

<http://independent.academia.edu/FrancisHermans> [consultado de janeiro a setembro de 2018]

7 - Anexos

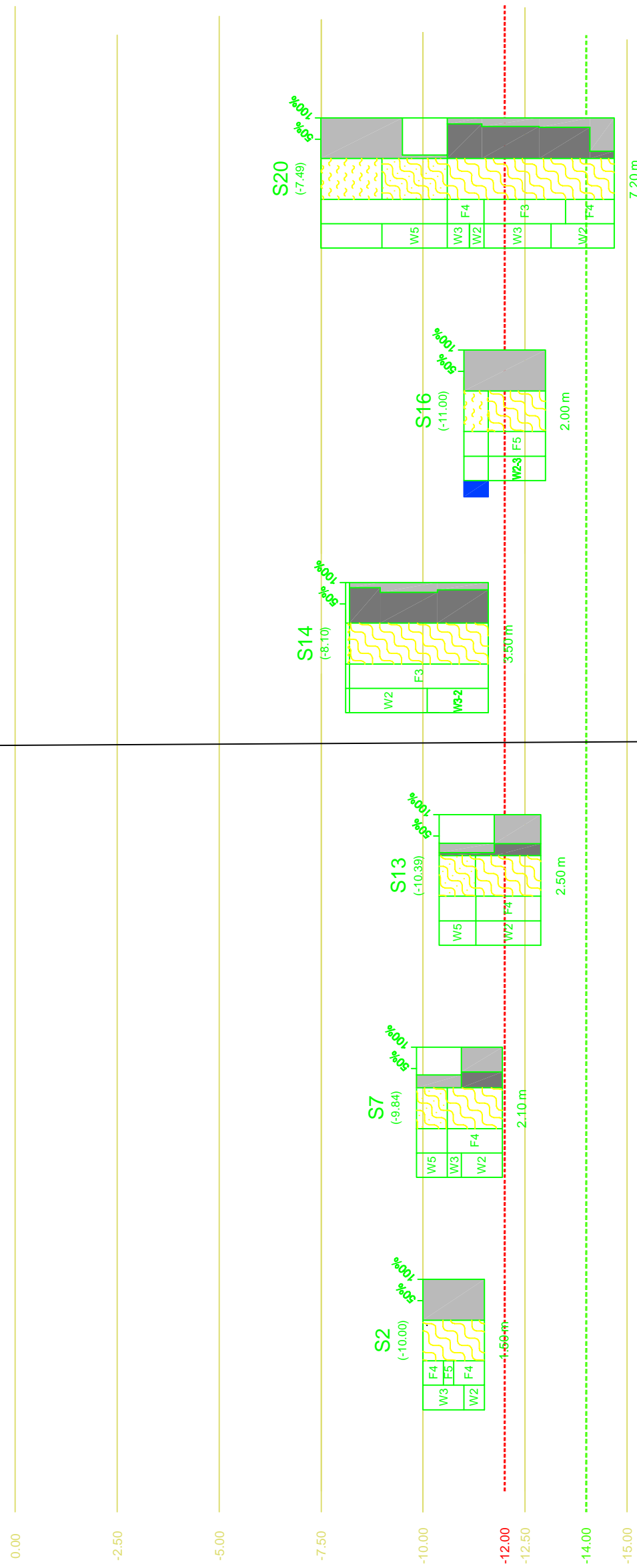
(página propositadamente em branco)

7. Anexos

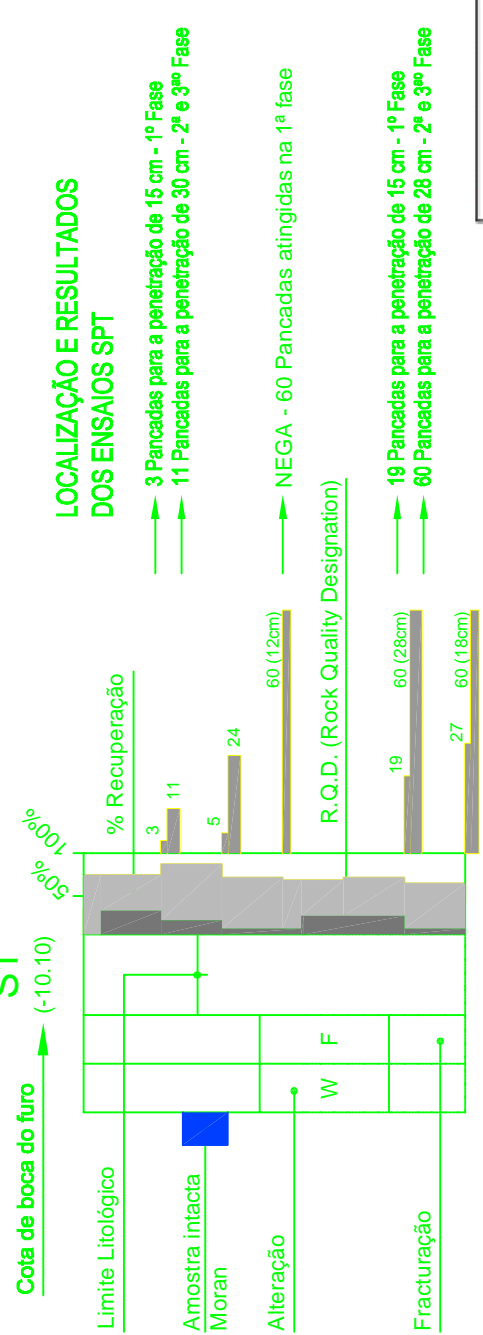
Anexo I - Campanha de Prospecção Geotécnica no Anteporto do Porto de Leixões.

Anexo II - Campanha de Prospecção Geotécnica no Anteporto e no Canal de Acesso à Doca nº4 do Porto de Leixões.

SONDAGENS



SONDAGENS EXECUTADAS



LOCALIZAÇÃO E RESULTADOS DOS ENSAIOS SPT

- 3 Pancadas para a penetração de 15 cm - 1ª Fase
- 11 Pancadas para a penetração de 30 cm - 2ª e 3ª Fase
- 19 Pancadas para a penetração de 15 cm - 1ª Fase
- 60 Pancadas para a penetração de 28 cm - 2ª e 3ª Fase

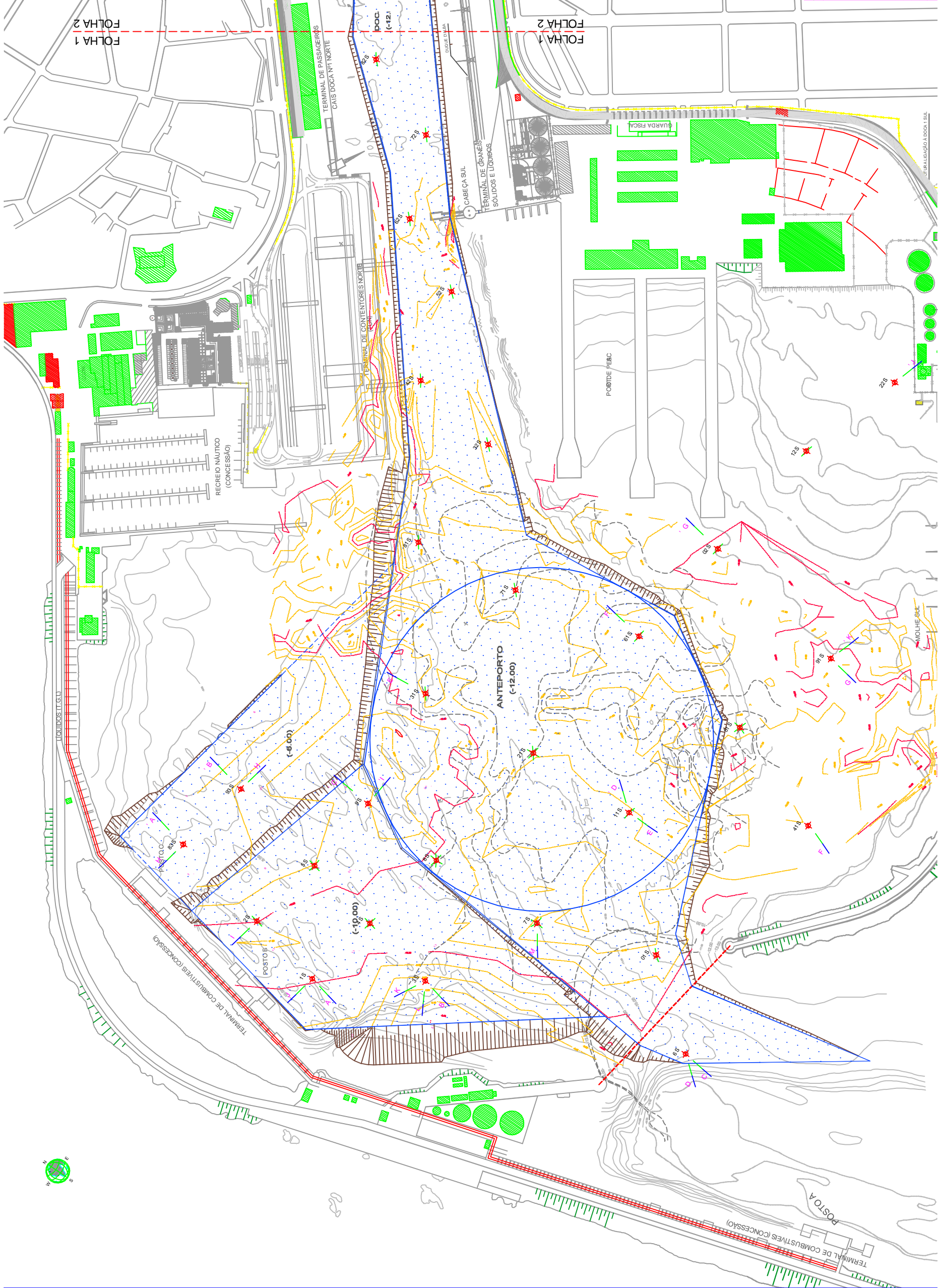
LEGENDA

LITOLOGIA	Descrição
	- Lodo
	- Areia lodosa
	- Areia
	- Salbro granítico
	- Granito
	- Xisto decomposto
	- xisto luzente

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA	
Autor: José Silva	Rev.: HL
Escala: H: 1/2000	V: 1/100
Data: Outubro de 2018	
Desenho nº: 1	Folha nº: 1/1
Versão: 10	

Contributos para a Otimização de Metodologias de Desmonte em Canais e Portos – O caso do Porto de Leixões

Adaptado:
Campanha de Prospeção Geológica no Anteporto do Porto de Leixões – Tecnasol, 2004.
Disponibilizado pela APDL

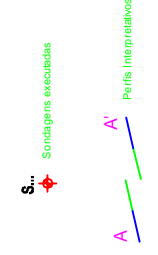


QUADRO DE COORDENADAS E COTAS DAS SONDAJENS

SONDAJENS	COORDENADAS	COTA	
S 1	-48274.05	10828.89	-10.10
S 2	-48264.28	10833.82	-10.00
S 3	-48266.19	10836.10	-4.00
S 4	-48270.02	10818.13	8.10
S 5	-48283.25	10824.16	8.40
S 6	-48185.20	10778.57	-13.00
S 7	-48182.82	10874.50	-8.80
S 8	-48183.88	10812.77	8.80
S 9	-48184.30	10823.88	-10.80
S 10	-48184.69	10788.14	-12.20
S 11	-48177.82	10788.88	-10.20
S 12	-48184.83	10818.83	-10.80
S 13	-48200.20	10828.20	-10.20
S 14	-47883.22	10783.25	-8.10
S 15	-47881.08	10785.30	-11.14
S 16	-47788.17	10814.20	-11.00
S 17	-47683.71	10823.88	-10.80
S 18	-47683.87	10847.84	-10.80
S 19	-47675.19	10780.88	-8.80
S 20	-47683.18	10808.27	-7.80
S 21	-47779.54	10871.07	-2.00
S 22	-47748.84	10822.12	1.00
S 23	-47688.88	10828.74	-10.80
S 24	-47681.88	10828.74	-10.80
S 25	-47683.28	10822.52	-10.20
S 26	-47623.88	10847.28	-10.70
S 27	-47625.75	10860.35	-10.70
S 28	-47683.88	10876.46	-10.80
S 29	-47727.27	10878.37	-10.80
S 30	-47722.11	10872.89	-10.44
S 31	-47702.00	10868.38	-10.19
S 32	-47670.08	10863.07	-11.80
S 33	-48010.48	10824.81	-10.84
S 34	-48084.88	10818.35	-11.80
S 35	-48254.52	10828.13	-11.44
S 36	-48883.83	10816.80	-11.84
S 37	-48275.27	10847.21	-11.84
S 38	-48272.88	10844.20	-8.14
S 39	-48228.88	10844.53	8.30

NOTAS:
 - Cotas referidas ao Z.H.L.
 - Coordenadas Hayford-Gauss com origem no ponto central.

LEGENDA



TecnosolEGE
 Engenharia Geotécnica

COMPANHIA DE PROSPECÇÃO GEOLOGICA NO ANTEPORTO E NO CANAL DE ACESSO AO CAIS 4 DO PORTO DE LEONDES

PROSPECÇÃO GEOLOGICO-GEOTÉCNICA

PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DAS SONDAJENS

Autores: [Nomes] | Escala: 1:2000

Projeto: [Nomes] | Data: [Data] | Verificado: [Data] | Validado: [Data]