



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Cartografia e avaliação geotécnica de blocos rochosos em plataformas costeiras (Gaia, NW Portugal)

Ana Lúcia Moura da Costa

160 ANOS **isep** Instituto Superior de Engenharia do Porto

LABCARGA
LABORATÓRIO DE CARTOGRAFIA
E GEOLOGIA APLICADA

**INSTITUTO
POLITÉCNICO DO PORTO**

2014



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

**Cartografia e avaliação geotécnica de blocos rochosos em
plataformas costeiras (Gaia, NW Portugal)**

Ana Lúcia Moura da Costa

1070323

*Dissertação apresentada 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 da Mestre Ana Cristina Pires de Oliveira, investigadora do Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada do ISEP e co-orientação do Doutor Helder I. Chaminé, Professor Coordenador com Agregação do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

Júri

Presidente

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor Augusto Pérez-Alberti
Professor Catedrático, Universidade de Santiago de Compostela, Espanha
Laboratory of Environmental Technology (Geomorphology Area), Institute of Technological Research, USC

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé
Professor Coordenador com Agregação, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor José Augusto Alves Teixeira
Professor Auxiliar Convidado, Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Mestre Ana Cristina Pires de Oliveira
Investigadora Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, Instituto Superior de Engenharia do Porto

*A tese de **Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente (MEGG)** foi defendida em prova pública, pela Licenciada **Ana Lúcia Moura da Costa**, no Auditório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Geotécnica (ISEP) em 12 de Novembro de 2014 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **17 (dezassete) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta.*

A Direcção do MEGG/ISEP

*“ Pedras no caminho? Guardo todas, um dia vou
construir um castelo...” - Fernando Pessoa*

Agradecimentos

Este trabalho não seria possível sem a colaboração, direta ou indireta, de algumas pessoas. Deste modo, com grande gratidão deixo os meus agradecimentos:

À minha orientadora, Mestre Ana Cristina Pires de Oliveira (LABCARGA|ISEP), o meu muito obrigada pela partilha de preciosos conhecimentos sobre o tema, pelo apoio na iniciação aos sistemas de informação geográfica, na revisão crítica desta dissertação, pela disponibilidade e boa disposição com que sempre me prendeu e que se tornou num fator fundamental para a conclusão, da melhor forma, do exaustivo trabalho de campo. Agradeço, ainda, a sua amizade e genuinidade que demonstrou, tornando-se uma fonte de motivação e exemplo a seguir, superando os obstáculos em tempos menos fáceis.

Ao meu co-orientador, Professor Helder I. Chaminé (DEG|ISEP), pelo seu apoio de rectaguarda para realização da tese, a atenta revisão do manuscrito, conselhos prestados e, acima de tudo, pela partilha de conhecimentos e análise crítica que se revelaram fundamentais para a consistência final da tese.

Ao Professor Augusto Pérez-Alberti (Universidade de Santiago de Compostela, Espanha), pela cedência de informação, bibliografia e dados extremamente úteis ao longo da dissertação, bem como a cedência do equipamento EQUOTIP. Ao Professor Alan Trenhaile (Universidade de Windsor, Canadá) pela partilha dos seus conhecimentos científicos, bem como a ambos uma visita à costa rochosa de Lavadores e as importantes discussões tidas.

Ao aluno de ERASMUS Stjepan Tomislav Rajcic (Universidade de Zabreb, Croácia), que colaborou na cartografia preliminar das geoformas costeiras de Lavadores. À estudante de doutoramento Dra. Maria Alexandra Oliveira (Faculdade de Ciências Universidade de Lisboa), pela preciosa ajuda na manipulação e interpretação das equações hidrodinâmicas.

Ao Eng^o E. Bogueira Dias (Administração dos Portos do Douro e Leixões – APDL), pela partilha de informação. Ao Professor F. Piqueiro (FEUP), pela cedência de imagens aéreas de alta resolução, base fundamental para a cartografia desta dissertação. Ao Professor Alberto Gomes (FLUP), pela cedência de bibliografia. Aos Mestres Patrícia Moreira, Catarina Rodrigues e Rui Santos Silva, pelo apoio prestado na aquisição de dados geológico-geotécnicos ao longo da costa rochosa de Lavadores.

Um agradecimento especial ao Director do LABCARGA Professor Helder I. Chaminé pela permissão da utilização de recursos e equipamento do Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA).

À equipa LABCARGA|ISEP (Dra. L. Freitas, Professor J. Teixeira, Professora M. J. Afonso e à colega Dra. L. Rodrigues), pela partilha de conhecimentos e pela boa disposição com que me brindaram neste local de aprendizagem e trabalho.

Aos meus amigos de longa data, Filipa e Hugo, pelo interesse que demonstraram e apoio incondicional. À Ana Isabel, pela boa disposição com que sempre me motiva.

Aos meus Pais, Ana e José, pelo apoio nestes anos de formação e por me possibilitarem a conclusão desta importante etapa. Aos meus irmãos, Fernando e Guilherme, pelo crescimento pessoal, acompanhamento académico e pela grande ajuda na impressão do manuscrito. Ao meu namorado João, por me acompanhar ao longo destes anos, pelo carinho e paciência que demonstrou ao longo desta fase.

Palavras-chave

Costas rochosas, sistemas costeiros, cartografia SIG, dinâmica costeira, geotecnia costeira

Resumo

Esta dissertação está relacionada com a avaliação de blocos rochosos e plataformas rochosas, que são capazes de atuar como uma obra marítima natural, protegendo a linha de costa contra os agentes dinâmicos litorais especialmente os processos erosivos. Este estudo foi realizado no sistema costeiro de Lavadores (NW Portugal), e recorreu-se a diferentes metodologias e equipamentos, tais como: técnica de amostragem linear, inspeção visual, equipamentos *in situ* de medição de resistência (martelo de Schmidt, Equotip), aplicação de fichas de campo e criação de cartografia temática numa plataforma SIG (Sistemas de Informação Geográfica). A dissertação envolve uma abordagem preliminar para a avaliação do setor rochoso de Lavadores, tendo sido registados parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos (e.g. litologia, grau de alteração, resistência, e orientação) das descontinuidades ao longo de perfis. Foi realizada também uma análise de geoformas que permitiu inventariar marmitas litorais e ainda criar uma base de dados com diferentes variáveis (e.g. pH, temperatura, dimensões, valor de ressalto). Realizou-se, ainda, um zonamento de blocos rochosos do setor costeiro de Lavadores, abrangendo a inventariação e inspeção visual de 246 blocos, registando-se: valores de ressalto e dureza (R/HLD); grau de alteração; massa; forma/geometria; mergulho/azimute. Para o estudo de mobilidade de blocos rochosos recorreu-se à modelação numérica e aplicação de equações hidrodinâmicas. Finalmente, da cartografia geológica e geomecânica, da avaliação de geomateriais e do estudo da geomorfologia costeira foi proposto um sistema integrado de geoengenharia costeira, que incluiu todos os dados estudados anteriormente através da cartografia SIG, base de dados e dinâmica litoral. Esta dissertação pretende ser um contributo para o conhecimento da área em termos de geomorfologia costeira, com uma abordagem preliminar de geotecnia costeira em termos de ordenamento do território e gestão litoral.

Keywords

Rocky coasts, coastal systems, GIS mapping, coastal dynamics, coastal geotechnics

Abstract

This dissertation is related with the evaluation of rocky platforms and boulders, which are capable of acting as a natural maritime structure protecting the coastline against the coastal dynamic agents and fundamentally, erosion processes. This study was performed in the coastal system of Lavadores (NW Portugal) and several methodologies and equipment were applied, such as: scanline sampling technique, visual inspections, portable equipment to measure the rock strength (Schmidt Hammer and Equotip), applied datasheets and thematic GIS mapping. This dissertation encompasses a preliminary approach for rocky coast assessment in Lavadores, recording geologic-geotechnical and geomechanical parameters (e.g. lithology, weathering grade, rock strength, and orientation) of joints along the profiles. It was also performed an analysis of geofoms using different variables (e.g. pH, temperature, dimensions, rebound values), which allowed the coastal kettle-holes inventory and database. The zoning of coastal boulders in Lavadores sector was generated, covering an inventory and visual inspection of 246 blocks, which recorded: rebound and hardness values (R/HLD); weathering grade; weight; shape/geometry; dip/plunge. The numerical modelling and application of hydrodynamic equations were carried out to study the mobility of boulders. Finally, including the geomechanical and geological characterisation, geomaterials assessment and coastal geomorphological analysis, it was proposed an integrated coastal geoengineering system, which included all data previously analysed through GIS mapping, geodatabase and coastal dynamics. This dissertation provides a contribution in terms of coastal geomorphology to the knowledge of the area, with a coastal geotechnics preliminary approach, concerning land-use planning and littoral management.

ÍNDICE

Capítulo 1

1. INTRODUÇÃO AO TEMA	3
1.1. Objetivos gerais	3
1.2. Organização da tese	4
1.3. A zona costeira: terminologia e classificações	5
1.3.1. Introdução à terminologia costeira	5
1.3.2. Classificações costeiras	8
1.4. Enquadramento geral	11
1.4.1. Ocupação de zonas costeiras	12
1.4.2. Erosão costeira e sustentabilidade	13

Capítulo 2

2. MATERIAIS E MÉTODOS	23
2.1. Cartografia aplicada	24
2.1.1. Cartografia geral	25
2.1.2. Imagens aéreas de alta resolução	25
2.1.3. SIG e ferramentas geoinformáticas	26
2.2. Inspeções visuais: técnicas e equipamentos	27
2.2.1. Técnica da amostragem linear	27
2.2.2. GPS de alta resolução	28
2.2.3. Fichas aplicadas	28
2.3. Ensaio esclerométrico e ensaio de dureza	35
2.3.1. Esclerómetro portátil (Martelo de Schmidt)	35
2.3.2. Equotip	37
2.4. Estudo de mobilidade	37
2.4.1. Análise da esfericidade de Wadell (1932); Zingg (1935)	38
2.4.2. Determinação do Corey Shape Factor (1949)	38
2.4.3. Equações hidrodinâmicas	39
2.5. Sistema de classificação de blocos	39
2.5.1. Escala de Udden-Wentworth	40
2.5.2. Sistema de classificação de partículas de Blair & McPherson	40

Capítulo 3

3. SISTEMAS E PROCESSOS COSTEIROS.....	45
3.1. Geomorfologia costeira.....	45
3.1.1. Variação global do nível médio do mar.....	45
3.1.2. Deformação marginal ou litoral.....	49
3.1.3. Morfologia da zona costeira.....	49
3.2. Processos costeiros.....	52
3.2.1. Hidráulica marítima: conceitos básicos.....	52
3.2.2. Transporte sedimentar.....	58
3.2.3. Outros processos.....	60
3.3. Morfodinâmica de sistemas costeiros.....	63
3.3.1. Modelos em geomorfologia costeira.....	63
3.3.2. Tipos de modelos.....	64
3.3.3. Modelação da morfodinâmica costeira.....	65

Capítulo 4

4. APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	73
4.1. Introdução.....	73
4.2. Caracterização geral da área de estudo.....	74
4.3. Enquadramento regional.....	76
4.3.1. Geologia regional.....	76
4.3.2. Geomorfologia Regional.....	78
4.3.3. Estuário do Douro e Cabedelo.....	80
4.3.4. Sedimentologia.....	82
4.4. Condições oceanográficas e meteorológicas.....	83
4.4.1. Regime de ventos e elementos de marés.....	85
4.4.2. Temperatura, precipitação e pressão atmosférica.....	86
4.4.3. Agitação marítima.....	88
4.4.4. Batimetria.....	89
4.5. O sector costeiro de Lavadores: Breve caracterização geológica e geomorfológica.....	90

Capítulo 5

5. CASO DE ESTUDO: SISTEMA COSTEIRO DE LAVADORES.....	99
5.1. Estudo geológico-geomecânico do maciço rochoso: breve síntese.....	99
5.1.1. Síntese de parâmetros geológico-geotécnicos – SL1.....	99
5.1.2. Síntese de parâmetros geológico-geotécnicos – SL2.....	107
5.1.3. Síntese de parâmetros geológico-geotécnicos – SL3.....	113

5.1.4.	Síntese de parâmetros geológico-geotécnicos SL1, SL2 e SL3	120
5.2.	Geomorfologia costeira e dinâmica litoral	125
5.3.	Caracterização de blocos rochosos – abordagem preliminar	135
5.3.1.	Breve nota introdutória.....	135
5.3.2.	Síntese de resultados – Corredor 1 ao 4	137
5.3.3.	Perfis de praia.....	150
5.3.4.	Análise crítica de resultados e proposta de zonamento de blocos rochosos	152
5.4.	Estudo de mobilidade.....	154
5.4.1.	Breve introdução	154
5.4.2.	Adaptação do estudo de Jonathan Nott (1977)	156
5.4.3.	Adaptação do estudo de Jonathan Nott (2003)	157
5.4.4.	Adaptação do estudo de Nandasena et al. (2011)	159
5.4.5.	Adaptação do estudo de Hudson (1953, 1959).....	162
5.4.6.	Análise crítica aos resultados obtidos pelas diferentes adaptações.....	163
5.5.	Modelo conceptual proposto.....	171
 Capítulo 6		
6.	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	177
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS.....		183

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Esquema metodológico do estudo.	5
Figura 1.2 – Ilustrações referentes a áreas costeiras: a- perfil de praia (adaptado de USACE, 1984); b- corte em planta (adaptado de Woodroffe, 2002); c- fotografia da zona costeira de Lavadores.	7
Figura 1.3 – Efeito da tectónica de placas na classificação de costas (adaptado de Inman & Nordstrom, 1971; Davies, 1972 em Trenhaile, 1997).	9
Figura 1.4 – Classificação do tipo de costas segundo Inman e Nordstrom, 1971 (adaptado de Pethick, 1984; Nelson, 2003; Goyios, 2009; Tanter, 2013).	9
Figura 1.5 – Tipos de costa em Portugal Continental e zona de estudo em pormenor (adaptado de Veloso-Gomes et al., 2006; Fotografia aérea da área de estudo – F. Piqueiro, Foto Engenho, 2006).	12
Figura 1.6 – Zona balnear de Lavadores, Gaia (Fotos A. Pires: 2010).	13
Figura 1.7 – Fatores a considerar relacionados com problemas de erosão costeira (adaptado de Pires, 2005, 2007).	15
Figura 1.8 – Obras de proteção costeira (adaptado de Veloso-Gomes, 1991; Coelho, 2005).	16
Figura 2.1 – Representação dos equipamentos utilizados (adaptado de Pires, 2013).	23
Figura 2.2 – Esquema da metodologia e cartografia aplicada.	24
Figura 2.3 – Alguns resultados dos voos realizados para complementar o trabalho cartográfico (realizado por Foto-Engenho): a - ano de 2002; b e c - ano de 2006 e d - ano de 2008).	25
Figura 2.4 – Exemplos práticos da utilização dos programas ESRI™ ArcGIS e OCAD™.	26
Figura 2.5 – Exemplos da utilização da técnica da amostragem linear aplicada às plataformas.	27
Figura 2.6 – Modelo de GPS usado no trabalho de campo.	28
Figura 2.7 – Ficha de inventário da caracterização de blocos rochosos - parte 1 (Pires, 2013; Pires et al., 2014).	30
Figura 2.8 – Ficha de inventário da caracterização de blocos rochosos - parte 2 (Pires, 2013; Pires et al., 2014).	31
Figura 2.9 – Ficha de inventário das geoformas - parte 1 (Pires, 2013; Pires et al., 2014).	32
Figura 2.10 – Ficha de inventário das geoformas - parte 2 (Pires, 2013; Pires et al., 2014).	33
Figura 2.11 – Exemplo de aplicação das bases de dados denominada GeoTech CalcTools, que engloba a SCANGEODATA BGD e a SCHMIDTDATA UCS para maciços rochosos fraturados (adaptado de Fonseca et al. 2010; Galiza et al., 2011a).	34
Figura 2.12 – Exemplos de utilização do esclerómetro portátil no trabalho de campo.	35
Figura 2.13 – Ábaco de Miller (Ábaco de Miller (adaptado de González de Vallejo & Ferrer, 2011).	36
Figura 2.14 – Aplicação do equipamento Equotip nas plataformas rochosas e em blocos.	37
Figura 2.15 – Classificação da esfericidade de partículas (adaptado de Zingg, 1935).	38
Figura 3.1 – Esquema com as relações entre os diferentes elementos com impacto na dinâmica costeira e o próprio impacte das intervenções antrópicas (adaptado de Ribeiro, 2010).	47

Figura 3.2 – Presumível linha de costa na plataforma continental portuguesa desde o último Máximo Glaciário (18 ka) até à atualidade (adaptado de Dias, 1987; Rodrigues et al., 1991; Dias et al., 1997, 2001).	48
Figura 3.3 – Taxa de variação do nível do mar segundo Topex-Poseidon no período de Janeiro de 1993 a Dezembro de 2000, LEGOS-GRGS/CNES, Abril 2001 (Paskoff, 2001).	48
Figura 3.4 – Resultado da migração do eixo de flexura (Cotton, 1955).	49
Figura 3.5 – Tipos fundamentais de morfologia nas costas rochosas (adaptado de Sunamura, 1992).	51
Figura 3.6 – Parâmetros para caracterização da agitação marítima (adaptado de Capitão, 2003).	54
Figura 3.7 - Correntes originadas pela agitação (Pais-Barbosa, 2007).	57
Figura 3.8 – Relação entre direção de ventos alísios e correntes upwelling (extraído de Thurman, 1997)....	58
Figura 3.9 – Processos de transporte longitudinal a – Transporte por arrastamento junto à praia e na zona de rebentação; b ₁ - Perfil de resposta a uma tempestade; b ₂ - Mudança de perfil sazonal (adaptado de Coelho, 2005; Pais-Barbosa, 2007).	60
Figura 3.10 – Processos de influência na geomorfologia costeira.	61
Figura 3.11 – Tipos de modelação existentes (adaptado de Pires, 2005).	64
Figura 3.12 – Tipos de modelos (adaptado de Woodroffe, 2002).	65
Figura 3.13 – Estampa 1 com exemplos de modelação conceptual e de morfodinâmica costeira: a - Geografia humana e económica do Golfo – a conquista do espaço / b - Dinâmica da água e formas do golfo, movimentos da água (in Vanney & Ménanteau, 2004); c - Recessão nas arribas de rochas brandas; diferentes modos de recuo (in Woodroffe, 2003).	67
Figura 3.14 – Estampa 2 com exemplos de modelação conceptual e de morfodinâmica costeira: a - Modelo evolutivo conceptual da praia de “Pensarn” no Norte do País de Gales, desde meados do Holocénico / b - Exemplo de um modelo esquemático da barreira costeira (Fookes et al., 2007); c - Célula costeira generalizada típica das Ilhas Britânicas / d - Reestruturação das células costeiras (ou sistemas costeiros) com as progressivas medidas de engenharia costeira e obras de proteção: sua complexidade, evolução, impactos e reconfiguração da linha de costa (Fookes et al., 2005).	68
Figura 3.15 – Estampa 3 com exemplos de modelação conceptual e de morfodinâmica costeira: a - Mapa do grau de estabilidade ao longo da costa rochosa do Norte da Galiza (variando desde estável, a instável e muito instável), estão assinalados também alguns exemplos com ocorrências de movimentos de massa / b - Tipologia da costa na área estudada de Finisterra (Fisterra, NW Galiza) e modelo 3D, encontram-se também assinalados os sectores de costa rochosa e arenosa analisados para este estudo que no global fez parte do Projeto CARTGalicia em estreita cooperação entre o Instituto Superior de Engenharia do Porto e a Universidade de Santiago de Compostela (LABCARGA ISEP-USC/2010-11) (Pérez-Alberti et al., 2013a); c - Perspetiva 3D do Quebra-mar destacado da Aguda (NW Portugal), e sua localização no modelo com os vetores de velocidade de corrente e intensidade (à esquerda) e a mudança de batimetria sobreposta à batimetria final (Taveira-Pinto et al., 2013); d - Evolução da linha de costa e da área urbana, modelo 3D dos esporões existentes e dos projetados (projeto de reabilitação do campo de esporões da Costa da Caparica e alimentação artificial de praia) (Pais-Barbosa et al., 2006).	69
Figura 4.1 – Fotografia aérea oblíqua do setor de estudo (Foto Engenho, 2008).	73

Figura 4.2 – Enquadramento geográfico de: a - Portugal Continental; b e c - V. N. Gaia e concelhos envolventes (Fonte: Imagem de satélite Landsat [composição colorida 7-4-2 R-G-B, sensor ETM+]; Limite de concelhos da Carta Administrativa Oficial de Portugal, Instituto Geográfico Português, 2008).....	75
Figura 4.3 – Caracterização da zona de estudo a - Cartografia utilizada; b - Fotografia do local de estudo Google Earth Pro; c - Fotografia panorâmica do setor rochoso de Lavadores mostrando a predominância de blocos rochosos.	75
Figura 4.4 – Localização dos corredores de estudo (C1, C2, C3 e C4) na costa rochosa de Lavadores.	76
Figura 4.5 – Esboço geológico regional do grande Porto (base geológica: (i) Norte do rio Douro: reinterpretada e adaptada de Pereira et al., 1989; Oliveira et al., 1992; Chaminé et al., 2003; e (ii) Sul do rio Douro: reinterpretada e adaptada de Chaminé, 2000; Chaminé et al.,2003).....	77
Figura 4.6 – Esboço geológico regional da área a Sul da Foz do Douro (adaptado de Carrington da Costa & Teixeira, 1957; Pereira et al., 1989; Chaminé, 2000; COBA, 2003). In: Chaminé et al. (2010).....	78
Figura 4.7 – Esboço morfotectónico da região de Vila Nova de Gaia, no quadro regional da faixa de cisalhamento de Porto-Albergaria-a-Velha-Águeda (adaptado de Araújo et al., 2003). In: Gomes (2008). ...	79
Figura 4.8 – a - Modelo digital de terreno da área a Sul da Foz do Douro; b - Esboço de declives da área a Sul da Foz do Douro.	80
Figura 4.9 – Esboço da batimetria e canal de navegação (gentilmente cedido por IND [Instituto de Navegabilidade do Douro], 1991).	81
Figura 4.10 – Extrato da Carta dos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental Portuguesa (I.H. 2010).	82
Figura 4.11 – Localização da área de estudo, da estação ondógrafo real e dos dados simulados (adaptado de Pires, 2013).....	83
Figura 4.12 – Boia WANA 1045064:a - Média da altura de onda significativa (Hs); b - frequência da altura de onda significativa (%); c - Altura de onda significativa (Hs), período (T) e direção (°); d - velocidade média do vento e direção (Puertos del Estado, 2012).	84
Figura 4.13 – Variação anual da distribuição da altura significativa de onda – Leixões (adaptado de I.H., 2005).	88
Figura 4.14 – Extrato do mapa batimétrico (I.H., 2007).....	89
Figura 4.15 – Aspectos gerais da geologia da área de estudo a – megacristais de feldspato; b – encraves negros; c – filões róseos; d – contacto com rochas gnáissicas (Fotos A. Pires, 2010).....	90
Figura 4.16 – Marmitas litorais em Lavadores: a - alinhamento de marmitas; b - marmita isolada.....	91
Figura 4.17 – Exemplos de caos de blocos na praia de Lavadores.	91
Figura 4.18 – Esboço geomorfológico da praia de Lavadores (Gomes et al., 2002).....	92
Figura 4.19 – Retrato histórico da cidade de V. N. Gaia (imagens retiradas de Gaiurb, 2014 e Candal Park, 2014).....	93
Figura 4.20 – Cartografia histórica da área de Vila Nova de Gaia e Porto (compilado de Pires, 2013).....	95
Figura 5.1 – Localização dos perfis SL1 a SL3 realizados ao longo da costa rochosa de Lavadores.	99
Figura 5.2 – Representação do grau de alteração para o perfil SL1 (n=17).....	100

Figura 5.3 – Representação dos diagramas de contorno estrutural e de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=17) para o perfil SL1.	100
Figura 5.4 – Representação dos azimutes em percentagem (n=17).	101
Figura 5.5 – Representação das inclinações em percentagem (n=17).	101
Figura 5.6 – Representação da abertura das descontinuidades em percentagem (n=17).	101
Figura 5.7 – Representação do espaçamento das descontinuidades em percentagem (n=17).	102
Figura 5.8 – Representação da continuidade (n=17).	102
Figura 5.9 – Representação da terminação (n=17).	103
Figura 5.10 – Representação da curvatura (n=17).	103
Figura 5.11 – Representação da rugosidade.	104
Figura 5.12 – Representação do tipo de enchimento.	104
Figura 5.13 – Representação da resistência à compressão uniaxial.	105
Figura 5.14 – Representação dos diagramas de contorno estrutural e de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=13) para o SL2.	107
Figura 5.15 – Representação dos azimutes para o perfil SL2 em percentagem (n=13).	107
Figura 5.16 – Representação das inclinações para o perfil SL2 em percentagem (n=13).	108
Figura 5.17 – Representação da abertura das descontinuidades em percentagem (n=13).	108
Figura 5.18 – Representação do espaçamento das descontinuidades do perfil SL2 em percentagem (n=13).	109
Figura 5.19 – Representação da continuidade para o perfil SL2 (n=13).	109
Figura 5.20 – Representação da terminação para o perfil SL2 (n=13).	110
Figura 5.21 – Representação da curvatura para perfil SL2 (n=13).	110
Figura 5.22 – Representação da rugosidade (n=13).	111
Figura 5.23 – Representação dos diagramas de contorno estrutural e de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=21) para o perfil SL3.	113
Figura 5.24 – Representação dos azimutes em percentagem (n=21).	113
Figura 5.25 – Representação das inclinações em percentagem (n=21).	114
Figura 5.26 – Representação da abertura das descontinuidades em percentagem (n=21).	114
Figura 5.27 – Representação do espaçamento das descontinuidades em percentagem (n=21).	115
Figura 5.28 – Representação da continuidade (n=21).	115
Figura 5.29 – Representação da terminação (n=21).	116
Figura 5.30 – Representação da curvatura (n=21).	116
Figura 5.31 – Representação da rugosidade.	117
Figura 5.32 – Representação da presença de água (n=21).	117
Figura 5.33 – Representação da resistência à compressão uniaxial simples em percentagem (n=21).	118
Figura 5.34 – Esboço com respetiva malha de fracturação vetorizada, com delimitação dos corredores de estudo.	122

Figura 5.35 – Mapa síntese composto por: Corredores de estudo e a localização das respetivas “scanlines” (SL1,SL2 e SL3); Síntese de informação obtida após o tratamento dos dados estatisticamente (principais famílias de descontinuidade, grau de alteração e outros parâmetros relevantes).....	123
Figura 5.36 – Representação do tipo de forma para as marmitas do nível superior.	126
Figura 5.37 – Representação do tipo de forma para as marmitas do nível intermédio.....	126
Figura 5.38 – Representação do tipo de forma para as marmitas do nível inferior.....	128
Figura 5.39 – Esquema da formação das marmitas.....	129
Figura 5.40 – Exemplos de exfoliação do granito.....	130
Figura 5.41 - Fotografia da marmita ID16.	130
Figura 5.42 – Representação da divisão em diferentes níveis de marmitas observadas e estampa de imagens.	132
Figura 5.43 – Cartografia com a definição dos corredores de estudo, geoformas e lineamentos tectónicos a - aspeto geral do setor de estudo; b - marmitas litorais; c - exemplificação de um corredor de estudo.....	133
Figura 5.44 – Estampa com as diferentes geoformas de interesse em Lavadores a - bloco pedunculado; b - torre granítica; c - escarpa; d - plataforma de abrasão; e - sapa; f - arco de abrasão marinha.	134
Figura 5.45 – Exemplos do registo fotográfico da metodologia aplicada e tipos de formas observadas. a - Determinação do mergulho; b - Observação de superfície de arrancamento; c - Evidências de porção de rocha arrancada; d - pormenor dos megacristais dos blocos.....	135
Figura 5.46 – Localização dos corredores, perfis de estudo e perfis de praia ao longo do sector rochoso de Lavadores.	136
Figura 5.47 – Estampa com a diversidade de aspetos visuais observados no Corredor 1.	137
Figura 5.48 – Análise do tipo de forma para o Corredor 1.	140
Figura 5.49 – Estampa de fotografias do Corredor 2 com alguns aspetos gerais.	140
Figura 5.50 – Representação dos tipos de forma para o Corredor 2.	143
Figura 5.51 – Representação dos tipos de forma do Corredor 2 por perfil.....	144
Figura 5.52 – Montagem de fotografias do Corredor 3 e aspetos de interesse ao longo do mesmo.	144
Figura 5.53 – Representação dos tipos de forma para o Corredor 3.	146
Figura 5.54 – Representação dos tipos de forma por perfil de estudo no Corredor 3 e exemplos da diversidade de formas observadas.	147
Figura 5.55 – Estampa de imagens gerais referentes ao Corredor 4.	147
Figura 5.56 – Representação dos tipos de forma para o Corredor 4.	149
Figura 5.57 – Representação dos tipos de forma para o Corredor 4 por perfil e alguns exemplos dos blocos observados.	149
Figura 5.58 – Representação esquemática dos perfis de praia P1 e P2, localizados nos corredores 1 e 4, respetivamente, e tipos de acumulação de blocos identificados ao longo dos corredores.	151
Figura 5.59 – Proposta de zonamento de blocos rochosos do sector costeiro de Lavadores: caracterização e avaliação preliminar.	153
Figura 5.60 – Representação da movimentação do bloco Y entre 2012-2014 (praia de Lavadores).	154

Figura 5.61 – Representação da tonalidade distinta do bloco Y.	155
Figura 5.62 - Representação dos três tipos de cenário de pré-transporte (adaptado de Nandasena et al.,2011).	157
Figura 5.63 – Representação das áreas de elevação (“lift) e arrasto (“drag”) (adaptado de Nandasena et al., 2011).....	159
Figura 5.64 – Sistema integrado em geociências costeiras: uma proposta preliminar.....	173

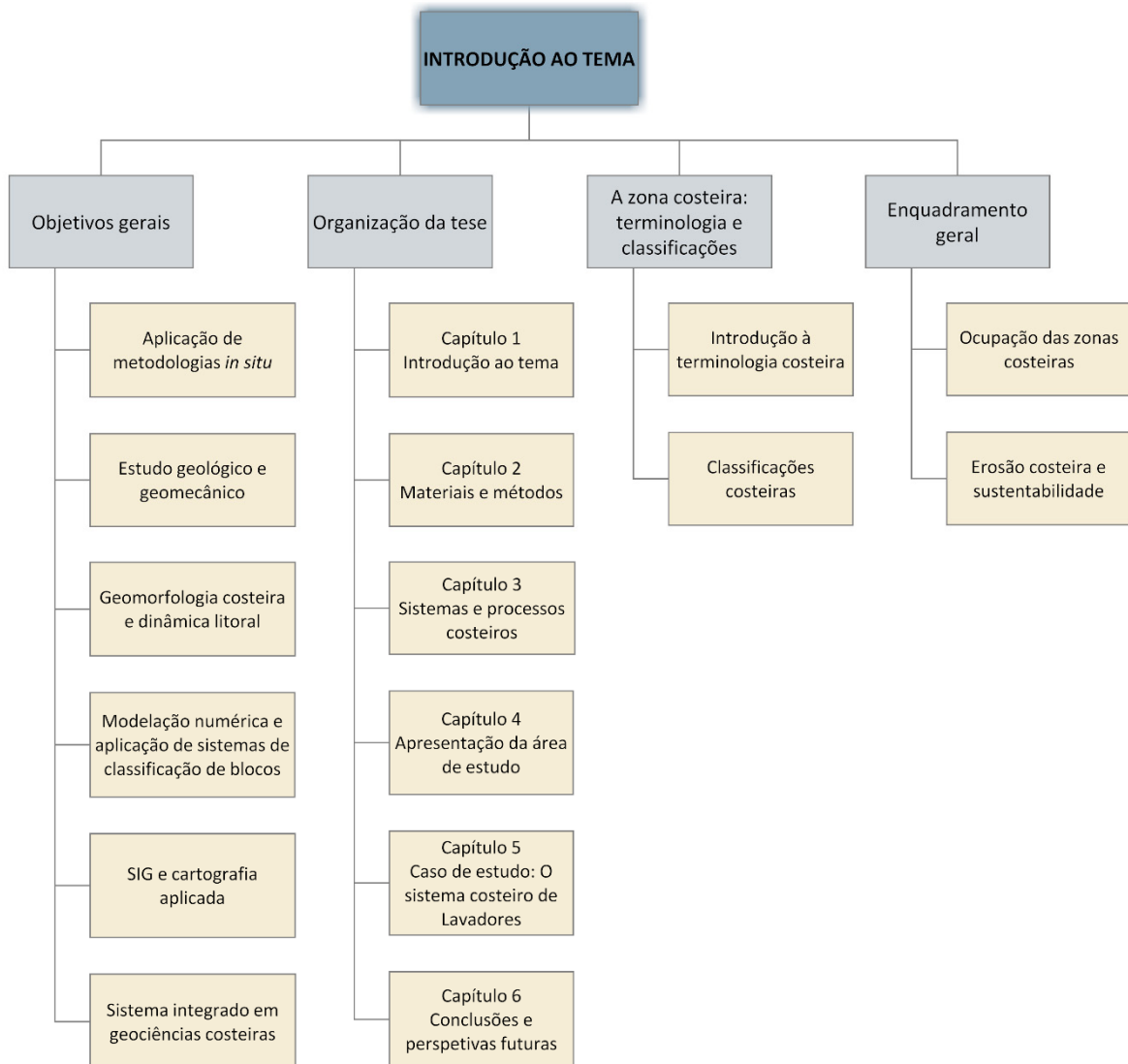
ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Síntese de alguns conceitos inerentes à zona costeira (adaptado de USACE, 1984, 1995, 2003; Pires, 2007; Veloso-Gomes et al., 2007, 2008).....	6
Tabela 1.2 – Síntese das classificações costeiras mencionadas.	10
Tabela 1.3 – Síntese dos diferentes tipos de obras de proteção – parte 1.(adaptado de Pires, 2005).	17
Tabela 1.4 – Síntese dos diferentes tipos de obras de proteção – parte 2 (adaptado de Pires, 2005).	18
Tabela 1.5 – Diferentes tipos de obras de proteção – parte 3 (adaptado de Pires, 2005).	19
Tabela 2.1 – Resistência à compressão uniaxial (adaptado de ISRM, 1978a, 1978b, 2007).	37
Tabela 2.2 – Síntese das equações utilizadas no estudo de mobilidade.	39
Tabela 2.3 – Escala Udden-Wentworth (adaptado de Dias,2004).	40
Tabela 2.4 – Sistema de classificação das partículas (adaptado de Blair & McPherson, 1999).	42
Tabela 3.1 – Resumo das formas de erosão marinha (adaptado de Araújo,2004, Pavlopoulos et al., 2009).	52
Tabela 3.2 – Movimentos ondulatórios (adaptado de Thurman, 1997).	53
Tabela 3.3 – Tipos de ondas de acordo com a profundidade (adaptado de Araújo, 2004).	54
Tabela 3.4 – Interação com fronteiras sólidas (sintetizado a partir de Pais-Barbosa, 2007).	54
Tabela 3.5 – Tipos de rebentação (sintetizado a partir de Pais-Barbosa, 2007).	55
Tabela 3.6 – Resumo da terminologia sobre marés (adaptado de Pais-Barbosa, 2007).	56
Tabela 3.7 – Tipos de transporte sedimentar.....	59
Tabela 3.8 – Modelos em geomorfologia costeira e sua breve descrição (sintetizado de Woodroffe,2002).	65
Tabela 4.1 – Frequência e velocidade média na estação Porto/P.Rubras (adaptado de I.H. 2005).....	85
Tabela 4.2 – Elementos de marés do ano de 2005 para a Boia de Leixões (adaptado de I.H. 2005).	85
Tabela 4.3 – Valores médios de precipitação (adaptado de I.H. 2005).	86
Tabela 4.4 – Valores médios da temperatura do ar (adaptado de I.H., 2005).	87
Tabela 4.5 – Temperatura da água do mar à superfície – Leixões (adaptado de I.H.,2005).	87
Tabela 4.6 – Valores médios da pressão atmosférica ao nível do mar (adaptado de I.H., 2005).	88
Tabela 5.1 - Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos do perfil SL1.	106
Tabela 5.2 – Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos do perfil SL2.....	112
Tabela 5.3 – Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos do perfil SL3.....	119
Tabela 5.4 – Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos para os perfis SL1,SL2 e SL3.....	121
Tabela 5.5 – Exemplo da base de dados criada para a marmita litoral ID1.....	125
Tabela 5.6 – Síntese dos parâmetros obtidos para as geoformas do nível superior.....	125
Tabela 5.7 – Representação dos parâmetros médios obtidos para o nível intermédio.....	126
Tabela 5.8 – Síntese dos parâmetros obtidos para as marmitas do setor intermédio (ID 5 a ID 33).....	127
Tabela 5.9 – Síntese dos parâmetros obtidos para as marmitas do nível inferior.	128
Tabela 5.10 – Síntese geral dos parâmetros obtidos para as marmitas estudadas.	129
Tabela 5.11 – Síntese do inventário de blocos rochosos para o Corredor 1.	138

Tabela 5.12 – Síntese do inventário de blocos rochosos para o Corredor 1 – Parte 2.....	139
Tabela 5.13 – Síntese de resultados para o Corredor 2 – Perfil 1.	141
Tabela 5.14 – Síntese de resultados para o Corredor 2 – Perfil 2.	142
Tabela 5.15 – Síntese de resultados para o Corredor 2 – Perfil 3.	143
Tabela 5.16 – Síntese de resultados para o Corredor 3 – Perfil 1.	145
Tabela 5.17 – Síntese de resultados para o Corredor 3 - Perfil 2.	145
Tabela 5.18 – Síntese de resultados para o Corredor 3 - Perfil 3.	146
Tabela 5.19 – Síntese de resultados para o Corredor 4 - Perfil 1.	147
Tabela 5.20 – Síntese de resultados para o Corredor 4 - Perfil 2.	148
Tabela 5.21 – Síntese de resultados.	150
Tabela 5.22 – Cálculo da altura de onda (H_s).....	156
Tabela 5.23 – Cálculo da altura de onda (H_t).....	157
Tabela 5.24 – Cálculo das alturas de onda H_{tSM} e H_{sSM} para o cenário de bloco submerso (SM).....	158
Tabela 5.25 – Cálculo das alturas de onda H_{tSA} e H_{sSA} para o cenário de bloco submerso (SA).....	159
Tabela 5.26 – Equações para determinação de forças e momentos.....	160
Tabela 5.27 – Relação do tipo de transporte inicial e velocidade de fluxo.	161
Tabela 5.28 – Parâmetros utilizados para cálculo de velocidade.....	161
Tabela 5.29 – Tipos de coeficiente K_d sugeridos (adaptado de USACE, 1984, Sorensen,2006).	162
Tabela 5.30 – Síntese de parâmetros e equações auxiliares.....	163
Tabela 5.31 – Alturas de onda e período de vaga mais relevantes entre 2010/14 (Windguru, 2014).....	165
Tabela 5.32 – Eventos registados para os dados mais significativos da tabela 5.29 (imagens retiradas de: a - Wettergefahren, 2014; b - The Independent, 2014.	166
Tabela 5.33 – Hipótese considerada e parâmetro(s) retirado(s): tabela resumo.	166
Tabela 5.34 – Síntese de resultados obtidos.	169

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO AO TEMA



Organização do capítulo 1

1. INTRODUÇÃO AO TEMA

1.1. Objetivos gerais

Esta dissertação, intrínseca à unidade curricular de dissertação/estágio/projeto do 2º ano de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Instituto Superior de Engenharia do Porto, Politécnico do Porto, tem como temática a cartografia e a avaliação geotécnica de blocos rochosos em plataformas costeiras (Gaia, NW Portugal). Os objetivos gerais deste estudo são:

- A aplicação de metodologias e técnicas geotécnicas *in situ*, com o intuito de determinar a durabilidade, qualidade, resistência e grau de alteração dos blocos encontrados ao longo da plataforma rochosa em Lavadores (Gaia);
- Realização de um estudo geológico e geomecânico ao longo da plataforma rochosa, de modo a relacionar as diferentes granulometrias, geometria, índice de forma e resistência dos blocos rochosos com o tipo de praia;
- Caracterização básica do sector de estudo em termos de geomorfologia costeira e dinâmica litoral;
- Modelação numérica para o cálculo da energia de transporte de blocos costeiros, análise da sua mobilidade e aplicação de sistemas de classificação para o estudo da geometria de blocos;
- Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e cartografia aplicada para um estudo geomorfológico aplicado à engenharia;
- Finalmente, proposta de um sistema integrado (modelo) em geociências costeiras.

Este projeto desenvolveu-se ao longo de distintas fases: (i) realizou-se um estudo preliminar, recorrendo à análise da informação disponível em estudos prévios; (ii) seguiu-se o trabalho de campo, tendo em consideração a importância e influência das condições climáticas aquando a recolha de dados fiáveis e representativos; e (iii) executou-se o tratamento e a análise dos dados obtidos, conduzindo às considerações finais sobre o tema.

O projeto foi realizado em estreita cooperação com o Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada | LABCARGA do Instituto Superior de Engenharia do Porto. Esta dissertação contou também com o apoio e a colaboração científica do Laboratório de Tecnologia Ambiental (Área da Geomorfologia) do Instituto de Investigação Tecnológica, Universidade de Santiago de Compostela (Galiza, Espanha) e do Departamento de Departamento de Ciências da Terra e Ambiental (Área da Gestão e Geomorfologia Costeira) da Universidade de Windsor (Ontário, Canadá), e que foram fundamentais para a discussão final da tese.

Foram consideradas diferentes metodologias e equipamentos, nomeadamente: (i) fotografia aérea de alta resolução; (ii) equipamentos portáteis de medição de resistência do material (e.g. EQUOTIP e martelo de Schmidt – PROCEQ™); (iii) GPS de alta precisão – Trimble™; (iv) técnica de amostragem linear; e (v) equipamentos básicos para o campo (e.g. máquina fotográfica, martelo de geólogo, fita métrica, etc.). Estes equipamentos e metodologias serão posteriormente desenvolvidos no Capítulo 2 desta dissertação.

1.2. Organização da tese

Este documento encontra-se dividido em 6 capítulos principais, caracterizados por vários subcapítulos neles incluídos.

O Capítulo 1 contém uma introdução à organização do documento, assim como uma definição dos principais objetivos a atingir com este estudo. Introduzem-se algumas designações no que diz respeito às zonas costeiras e é feito um breve resumo das diferentes classificações e do enquadramento da temática na atualidade.

O Capítulo 2 engloba uma descrição dos materiais e metodologias úteis na realização deste projeto e inclui: tipos de modelação; inspeções visuais; técnicas e equipamentos; sistema de classificação de blocos; equações hidrodinâmicas.

O Capítulo 3, denominado “Sistemas e processos costeiros”, inclui os princípios básicos da geomorfologia costeira. Nele, são descritos os principais processos que ocorrem e a sua influência nas diferentes morfologias litorais. É dado particular ênfase aos blocos rochosos, arribas e plataformas. De maneira a explicar as mudanças ocorridas nas zonas costeiras em tempos passados e a sua evolução no futuro, alguns modelos de geomorfologia costeira serão descritos neste capítulo.

No Capítulo 4 efetua-se a caracterização geral da área envolvente e do setor em estudo em particular.

O Caso de estudo é apresentado no Capítulo 5, envolvendo a temática da praia rochosa de Lavadores (NW Portugal). É também apresentado o estudo geológico-geomecânico, com o auxílio das ferramentas SIG e cartografia aplicada. Um sistema integrado em geociências costeiras é proposto neste capítulo.

O Capítulo 6 sumariza os pontos relevantes conclusivos dos prévios capítulos e inclui as futuras perspetivas sobre o tema. Na figura 1.1. pode visualizar-se um esquema geral da organização deste estudo.

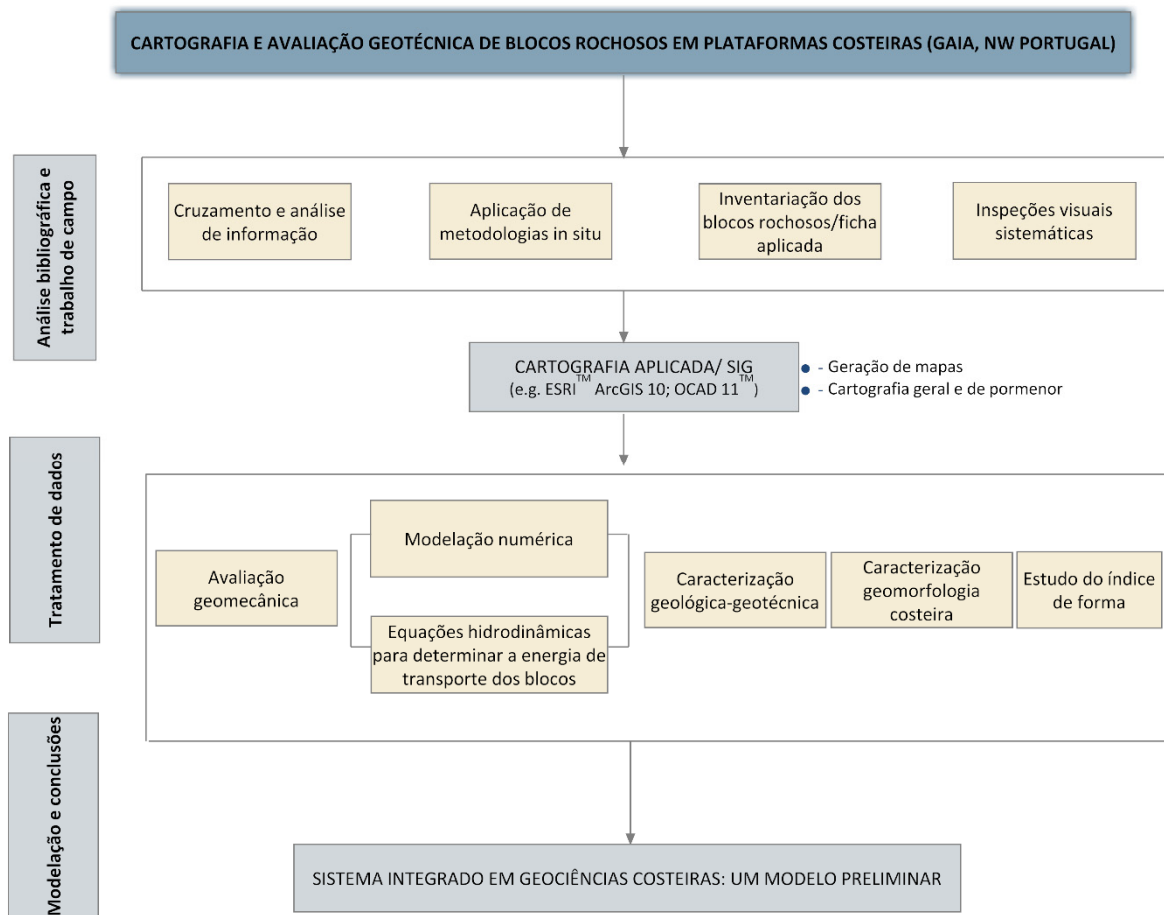


Figura 1.1 – Esquema metodológico do estudo.

1.3. A zona costeira: terminologia e classificações

Neste subcapítulo introduzem-se alguns conceitos referentes à terminologia costeira e são descritas algumas das classificações que foram surgindo ao longo dos tempos com o objetivo de compreender os processos existentes, bem como a sua influência na morfologia litoral.

1.3.1. Introdução à terminologia costeira

A terminologia costeira engloba um grande número de designações, sendo estas utilizadas de modo indiferenciado por vários especialistas de diversas áreas de estudo. A definição dos limites físicos inerentes à zona costeira constitui um tema complexo, sendo variável de acordo com diferentes conceitos e documentos científicos existentes (e.g. USACE, 1984, 1995, 2003; Pires, 2007; Veloso-Gomes et al., 2007, 2008).

Com o intuito de simplificar a compreensão de alguns conceitos presentes nas figuras que se seguirão, resumem-se na tabela 1.1 algumas designações e respetivas definições.

Tabela 1.1 – Síntese de alguns conceitos inerentes à zona costeira (adaptado de USACE, 1984, 1995, 2003; Pires, 2007; Veloso-Gomes et al., 2007, 2008).

Designação	Definição
Área/Região litoral/Região costeira/Litoral	Parte do território sob a influência direta ou indireta da proximidade ao mar.
Zona litoral/Zona costeira	Parte do território influenciada direta ou indiretamente em termos biofísicos pelo mar.
Orla costeira	Parte do território onde o mar exerce de forma direta a sua ação, com o auxílio da ação eólica, estendendo-se para o lado da terra centenas de metros e para o lado do mar até à batimétrica dos 30m.
Antepraia	Área entre a crista da berma e o limite da praia do lado do continente.
Praia	Área entre o limite da maré baixa e a crista da berma; limite máximo atingido pelo jato de rebentação.
Pré-praia	Área situada para além do limite da maré baixa (sempre submersa).
Berma	Superfície quase horizontal, com extensão para além do limite normal atingido pelo jato de rebentação.
Crista da berma	Limite da berma, correspondendo a uma saliência ou salto no perfil da praia.

Carter (1995) definiu a zona costeira como o espaço no qual o ambiente terrestre e marinho se influenciam, considerando que ambos podem apresentar dimensões variáveis e mudanças graduais no tempo. Partindo deste pressuposto e, analisando a zona costeira como um sistema geomorfológico dinâmico, verifica-se a existência de zonas que apresentam indícios de fortes interações entre a terra e o mar e outras, que embora mais distantes da costa, exercem também algum efeito na sua morfologia litoral (Kay & Alder, 2002). Um rio, por exemplo, ainda que distante da costa pode influenciá-la, uma vez que permite o transporte de sedimentos para o ambiente costeiro. A zona costeira, rica em recursos naturais, ostenta a linha de costa, que representa a margem entre a terra e o mar (Woodroffe, 2002) e que se encontra em constante movimento, especialmente devido à subida e descida de marés e à passagem de tempestades (Kay & Alder, 2002). Assim, depreende-se que a linha de costa tem sofrido algumas mudanças, sendo que algumas são passíveis de ser perceptíveis, não apenas no espaço de centenas de anos, mas também durante um único dia. A título de exemplo, através dos perfis de praia podem confirmar-se modificações na forma da costa num curto período de tempo, assim como variações de marés com influência nos processos costeiros (Pethick, 1984).

Na figura 1.2 é possível visualizar três ilustrações de uma zona costeira sob diferentes perspetivas: perfil de praia; vista em planta; e, ainda, fotografia da zona costeira em estudo (Lavadores, Gaia). Tendo por base a terminologia costeira, embora com algumas divergências entre especialistas na área dos estudos costeiros, usualmente o perfil de praia é composto por quatro zonas distintas: “a costa”, “a antepraia”, “a praia” e “a pré-praia” (Dean & Dalrymple, 2004). As praias e dunas, visualizadas em planta, são parte constituinte da “antepraia”, que representa a zona acima da linha de água. A parte da praia sujeita às variações da linha de água é denominada “zona da ressaca”. A “praia” envolve águas mais superficiais e a sua inclinação assinala a defesa natural das margens

costeiras para resistir aos ataques de ondas, correntes e tempestades. Este acontecimento permite a rebentação das ondas na zona da “pré-praia”, a qual representa áreas de águas profundas, dissipando a sua energia sobre a “zona de rebentação”. As ondas voltam a formar-se, após rebentação, e este processo é repetido diversas vezes até atingirem rapidamente a “praia”, que pode estar alternadamente húmida ou seca (USACE, 1984). A zona da praia sem existência de água pode conter bermas, que são secções horizontais do perfil, ou escarpas, quase verticais, causadas pela ação das ondas e de níveis elevados de água.

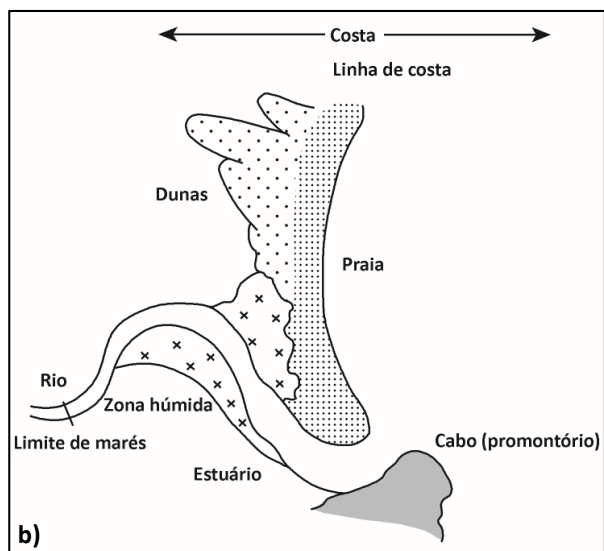
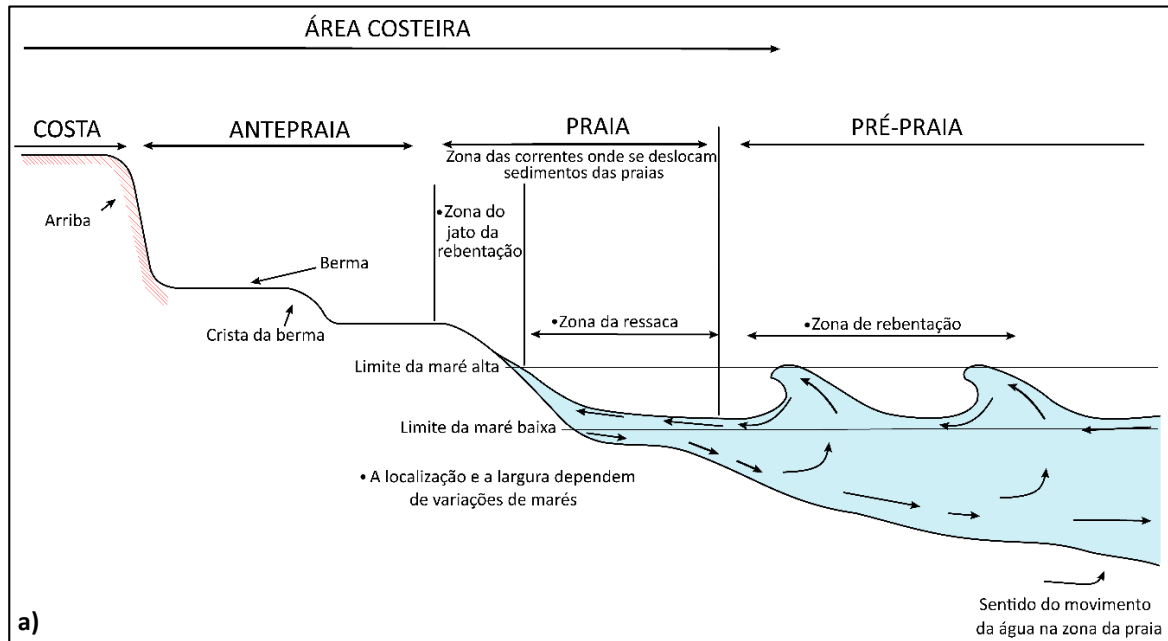


Figura 1.2 – Ilustrações referentes a áreas costeiras: a- perfil de praia (adaptado de USACE, 1984); b- corte em planta (adaptado de Woodroffe, 2002); c- fotografia da zona costeira de Lavadores.

Visualizando o corte em planta (figura 1.2b), é possível distinguir diferentes formas de relevo litoral originadas, resultado da influência de distintos fatores e processos que contribuíram para a sua gênese. A topografia, a textura dos sedimentos e até mesmo a resistência são variáveis na formação destes diferentes ambientes. As praias onde predominam os afloramentos rochosos são consideradas as mais resistentes, sendo estas caracterizadas pela presença de arribas. A areia e o cascalho presentes nestes locais apresentam maior mobilidade e constituem autênticas barreiras costeiras (Woodroffe, 2002).

No Capítulo 3, os conceitos básicos de hidráulica marítima (e.g. ondas, marés e correntes), a descrição dos diferentes elementos e formas, permitirão uma melhor compreensão destes processos costeiros.

1.3.2. Classificações costeiras

Vários investigadores têm vindo a desenvolver particular interesse nas zonas costeiras e efetuaram diversos estudos nesse mesmo sistema geomorfológico: geólogos, geógrafos e geofísicos focam-se no ambiente físico, incluindo rochas e sedimentos; biólogos e cientistas ambientais investigam plantas e animais e consciencializam para a sua influência nos processos físicos (hidrodinâmicos e aerodinâmicos); oceanógrafos e geomorfólogos estudam os processos e morfologia costeira; cientistas sociais (e.g. sociólogos, economistas) separam interesses do Homem na utilização costeira; engenheiros hidráulicos e costeiros estudam a estabilidade da costa, o uso dos seus recursos e definem estratégias de gestão litoral (Woodroffe, 2002).

Até agora, os estudos costeiros eram baseados apenas na classificação das morfologias litorais, o que se revelou não ser suficiente para providenciar informação que permitisse relacionar a morfologia e os processos ocorrentes na costa (Pethick, 1984). Algumas abordagens resultaram em classificações genéticas (cuja preocupação era a de como a costa evoluiu) ou descritivas (preocupadas com as características aparentes da linha de costa) e, em alguns casos, na combinação das duas classificações anteriores. Infelizmente, nenhuma delas se provou totalmente satisfatória (Pethick, 1984), isto porque as classificações genéticas demonstram ser caracterizadas pela falta de informação relevante, enquanto as descritivas englobam uma enorme variedade de tipos de costa e, por isso, aparentam ser demasiado complexas (Trenhaile, 1997). De um modo geral, quase todas as classificações envolvem em comum algumas variações: forma da costa, mudanças no nível do mar, efeito de processos marinhos (King, 1972; Trenhaile, 1997).

Algumas classificações genéticas fornecem informação acerca do funcionamento das costas. Estas são baseadas na ideia de que as formas litorais são o resultado de alterações no nível do mar

(Pethick, 1984). Johnson (1919) e Valentin (1952) classificaram as costas como submersas e emersas, o que se revelou ser extremamente complexo de identificar. Inman & Nordstrom (1971) desenvolveram uma classificação particularmente útil sobre o efeito da tectónica de placas (ou seja em termos de geodinâmica global) nos ambientes costeiros. De acordo com a figura 1.3, três grandes classes são identificadas: (i) litorais de colisão; (ii) costas passivas; e (iii) litorais de mares marginais. Esta classificação distingue quatro tipos de costa, como demonstrado na figura 1.4.

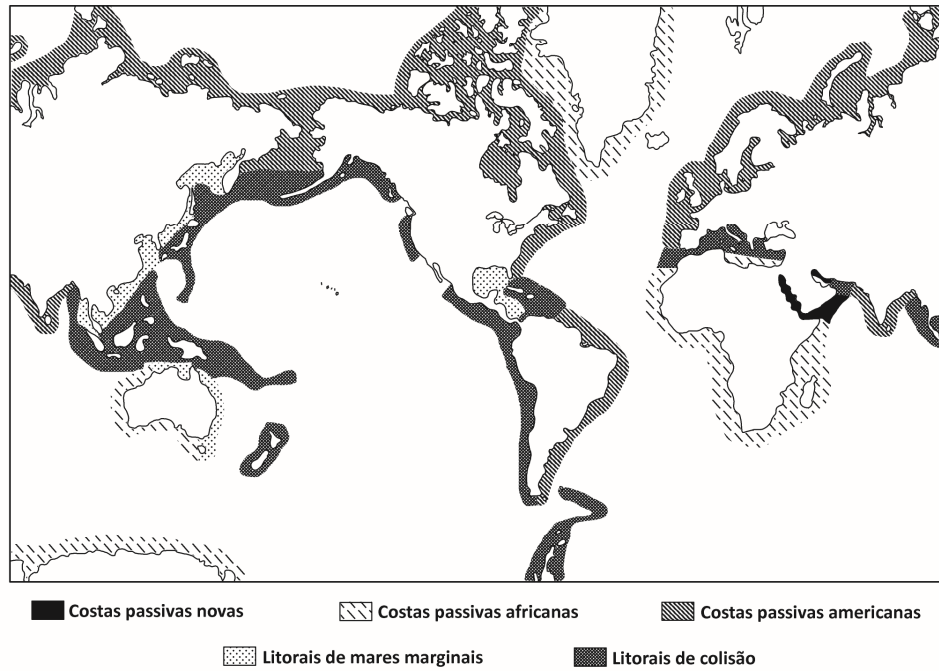


Figura 1.3 – Efeito da tectónica de placas na classificação de costas (adaptado de Inman & Nordstrom, 1971; Davies, 1972 em Trenhaile, 1997).

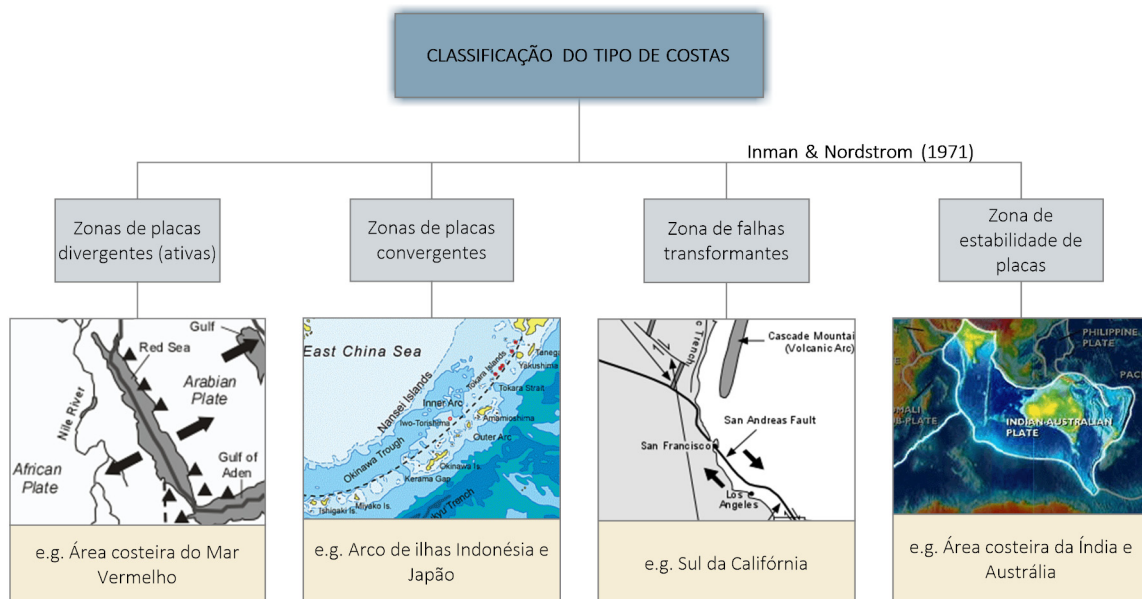


Figura 1.4 – Classificação do tipo de costas segundo Inman e Nordstrom, 1971 (adaptado de Pethick, 1984; Nelson, 2003; Goyios, 2009; Tanter, 2013).

Shepard (1986), por sua vez, deu origem a uma outra classificação genética e dividiu as costas em primárias e secundárias. As primárias são aquelas pouco afetadas pelos processos marinhos, apresentando praticamente as mesmas condições que apresentavam no final da última mudança no nível do oceano, enquanto as secundárias são alteradas por esses processos (Pethick, 1984). Também baseada em processos costeiros está a classificação de Davies (1972, 1980) e de Tanner (1960). Ambas classificam as costas tendo em conta o nível de energia que estas recebem. Tanner (1960) dividiu os ambientes costeiros em “alta”, “moderada” ou de “baixa” energia. A classificação morfogenética de Davies (1972, 1980) distinguiu “ambientes de ondas de tempestade” (em regiões de média latitude) e “ambientes de ondas swell” (frequentemente em baixas latitudes) (Pethick, 1984).

Bloom (1978) definiu as zonas costeiras como “altas” e “baixas”, considerando “altas” aquelas desenvolvidas em rochas resistentes, enquanto as “baixas” são desenvolvidas em planícies de costas aluviais e, também, associadas com as variações no nível do mar (Pethick, 1984).

Na generalidade, o foco de estudos costeiros tem estado centrado nas costas do noroeste da Europa, costa Norte-americana e estados soviéticos, o que não se revela ser representativo da linha de costa a nível mundial (Davies, 1980). Durante o século XX, devido a alguns progressos a nível conceptual, a morfologia litoral começou a ser estudada e analisada sob o ponto de vista de um sistema geomorfológico dinâmico. Nos anos 90 as preocupações acerca da mudança global, especialmente do aumento do nível médio do mar (Barth & Titus, 1984; Woodroffe 2002) deram uma nova motivação para proceder com os estudos costeiros. Na tabela 1.2. é apresentada em forma de síntese as classificações costeiras acima descritas e caracterizadas.

Tabela 1.2 – Síntese das classificações costeiras mencionadas.

Autor e ano	Classificação e fatores influentes
Johnson, 1919; Valentin, 1952	Costas submersas e costas emersas. Formas litorais como resultado de alterações no nível do mar .
Tanner, 1960	Ambientes costeiros de “alta”, “moderada” ou “baixa” energia. Nível de energia recebido.
Inman & Nordstrom, 1971	Zonas de placas divergentes; zonas de placas convergentes; falhas transformantes e zona de estabilidade de placas. Efeito da tectónica de placas nos ambientes costeiros.
Davies, 1972, 1980	Ambientes de ondas de tempestade e ambientes de ondas swell. Nível de energia recebido.
Bloom, 1978	Costas “altas” e costas “baixas”. Formas da costa e alterações do nível do mar .
Shepard, 1986	Costas primárias e costas secundárias. Efeito dos processos marinhos .

1.4. Enquadramento geral

Este subcapítulo tem início com um pequeno enquadramento do local em estudo, sob o ponto de vista do tipo de costa em Portugal Continental e, particularmente, na zona de Lavadores (figura 1.5). Será introduzido o tema da ocupação de zonas costeiras e consequente erosão. A temática da sustentabilidade é aqui abordada e é realizada ainda uma breve descrição dos tipos de obras marítimas.

Posto isto, tendo por base a análise da figura 1.5, é possível verificar a existência de três tipos de costa em Portugal Continental: a costa baixa e arenosa; a costa alta de arriba; e a costa rochosa. A costa baixa e arenosa (também denominada de costa de praia) reflete uma linha de costa inserida num relevo baixo ou formações rochosas menos resistentes (arenitos, argilas), sendo que a erosão marinha é menos intensa. Por outro lado, a costa de arriba (alta e escarpada) envolve formações rochosas mais resistentes (granitos, xistos e calcários), inserindo a linha de costa num relevo alto. Segundo Sunamura (1992) é possível definir, ainda, costa rochosa como uma costa em arriba cuja composição consiste em material consolidado ou semi-consolidado (Dias et al., 2000; Araújo, 2004).

A Costa Atlântica Portuguesa apresenta mais de 800km de extensão, com cerca de 290 estruturas de proteção costeira ao longo da costa, onde 70% são essencialmente esporões e obras aderentes (Pires et al., 2009a).

A Costa Portuguesa apresenta algumas divergências a nível morfológico (Ferreira, 1999), salientando-se:

- de Espinho a Nazaré, a costa é predominantemente baixa e arenosa;
- de Nazaré à Foz do Tejo, a costa é alta, possuindo falésias abruptas;
- da foz do Sado até Sines, a costa é baixa e arenosa, predominando as rochas sedimentares;
- de Sines até Sagres, incluindo parte do litoral do Algarve, a costa é alta.

Na figura 1.5 pode-se ainda verificar a extensão da área de drenagem diretamente para o mar após a construção de barragens. Este consiste num fator importante na alteração do regime hidrológico e, consequentemente, no processo de mudança das zonas costeiras, sendo de salientar a sua redução para apenas 13% da área inicial, isto é, da área de drenagem natural previamente à construção de barragens no século XIX (Pais-Barbosa et al., 2010).

No capítulo 3 serão descritos alguns fatores a ter em consideração na evolução das costas rochosas, assim como os tipos fundamentais de morfologia neste tipo de costa, sendo feita uma breve referência aos tipos de plataformas e arribas.

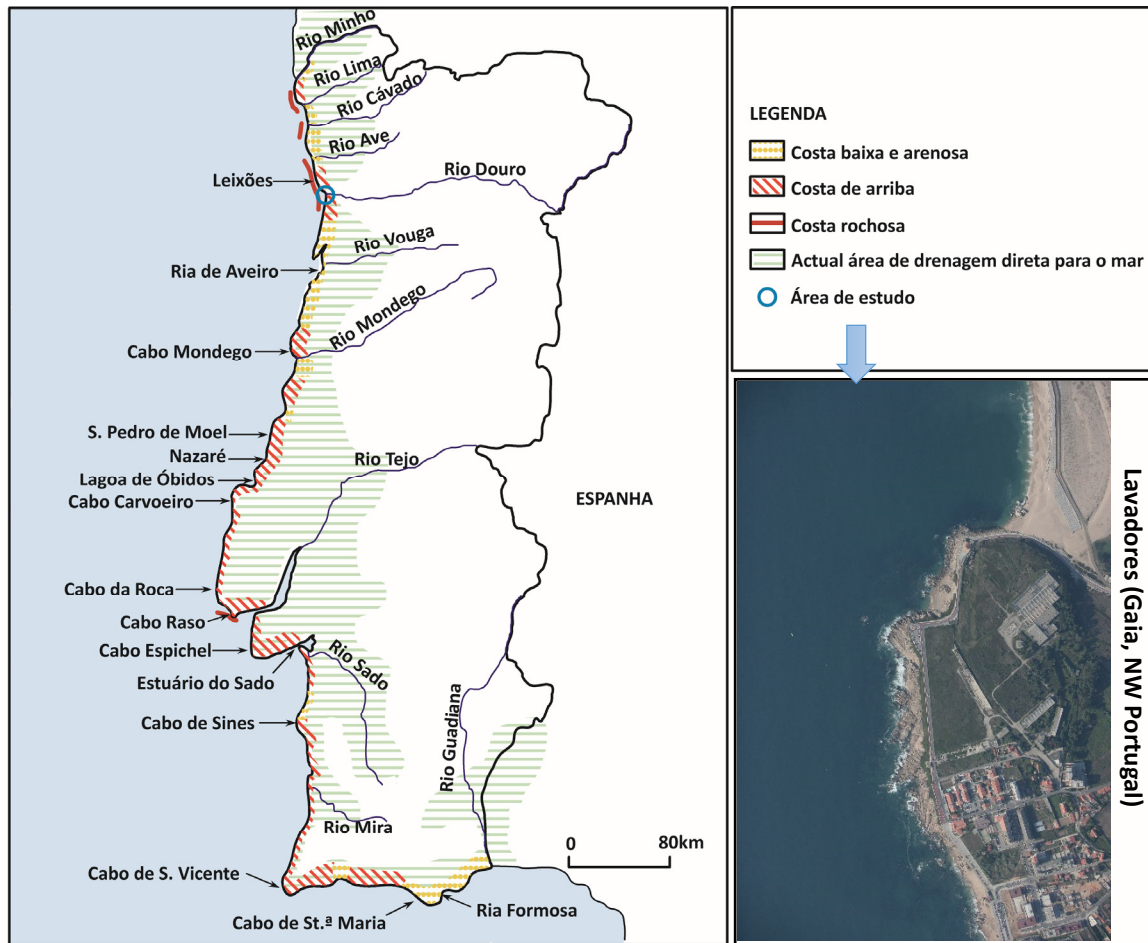


Figura 1.5 – Tipos de costa em Portugal Continental e zona de estudo em pormenor (adaptado de Veloso-Gomes et al., 2006; Fotografia aérea da área de estudo – F. Piqueiro, Foto Engenho, 2006).

1.4.1. Ocupação de zonas costeiras

De um modo geral, a ocupação das zonas costeiras foi sempre escassa (à exceção de alguns ambientes costeiros que, pela abundância de recursos, constituíam zonas particularmente atrativas, como estuários e lagoas). De facto, os litorais eram locais a evitar pelo Homem, principalmente os litorais arenosos, caracterizados por grandes amplitudes térmicas diárias, forte insolação, muito vento, com escassa vegetação e sem fácil acesso a água doce. Outro fator importante consiste na impossibilidade de praticar agricultura, uma vez que a areia e campos dunares, além dos riscos naturais iminentes, inviabilizam a mesma prática. O risco de pirataria existente nestas zonas, até meados do século XVIII, afastava, também, as povoações destes locais (Dias, 2003).

A partir do século XIX verificou-se um aumento significativo na ocupação dos litorais arenosos oceânicos, em parte devido ao conhecimento dos benefícios da água do mar no organismo humano. Inicialmente, as estâncias balneares eram apenas frequentadas pelos estratos sociais mais elevados e, posteriormente, a partir da 2ª metade do séc. XX essencialmente, acessível a toda a sociedade (Dias, 2003). A figura 1.6 representa um exemplo de uma zona balnear que, neste caso, diz respeito ao caso de estudo.



Figura 1.6 – Zona balnear de Lavadores, Gaia (Fotos A. Pires: 2010).

O crescimento da população em zonas costeiras revela-se uma tendência mundial dos países desenvolvidos, migrando das zonas rurais e centrais para estes locais na procura de melhores condições e qualidade de vida. De facto, as costas são consideradas regiões na qual a abundância de recursos naturais e atividades humanas é significativa, tornando estes locais em zonas extremamente atrativas, especialmente para o turismo. Cerca de 50 a 70% da população mundial reside próximo do mar (Trenhaile, 1997) e as predições futuras indicam que até 2020 estes valores poderão aumentar para 75% da população a residir num raio de distância até 60km da linha de costa (Edgreen 1993 in Kay & Alder, 2002).

1.4.2. Erosão costeira e sustentabilidade

Como resultado do crescimento da população mundial e, conseqüentemente, do aumento da exploração dos recursos costeiros, a degradação na qualidade do ambiente costeiro torna-se evidente. É essencial perceber que a proximidade ao mar reflete vantagens mas requer precauções e perceções realistas das catástrofes naturais, mas também de procura de soluções de modo a minimizar conseqüências negativas. Desta forma, é crucial direccionar especial atenção ao planeamento e gestão das linhas de costa, considerando a distribuição dos seus recursos como um tema complexo (Carter, 1995).

O desenvolvimento das áreas costeiras, a evolução das linhas de costa e a análise da sua regressão ou erosão são aspetos chave a ter em conta para melhorar os projetos das geociências costeiras (Taveira-Pinto, 2003; Pires, 2007). Inúmeros erros foram cometidos no passado, relacionados com uma inapropriada gestão costeira. De modo a prevenir este tipo de situação, um novo conceito foi criado, envolvendo uma completa compreensão do fenómeno de erosão costeira. Este, denominado Gestão Integrada das Zonas Costeiras (GIZC), é baseado na interdisciplinaridade de princípios e informação sólida, permitindo tomar decisões para obter uma gestão costeira sustentável.

Gestão Integrada das Zonas Costeiras

Considerada uma gestão de conflitos. Tem como princípio a compatibilização das diversas atividades envolventes (turismo, exploração de recursos, várias indústrias, transporte, produção de energias, recursos vivos, entre outros), de modo sustentável. Existe a participação de várias equipas e definição de objetivos, fornecidos pelo poder político (e.g. Post & Lundin, 1996; Cicin-Sain & Knecht, 1998; Dias, 2003; Fröhle & Kohlhase, 2004).

Sustentabilidade

“Capacidade de suprir as necessidades da geração atual sem afetar a capacidade das gerações futuras suprirem as suas” (WCED, 1987)

É importante incluir o dimensionamento e a construção de estruturas de proteção costeira nas políticas de um plano de gestão costeira assim como todas as atividades envolvidas. A manutenção e a monitorização de estruturas são também importantes temas a ter em consideração e é essencial ponderar as medidas de intervenção e avaliação destas estruturas, de modo a maximizar a sua performance com o mínimo de custos possível (Pope & Curtis, 2005; Pires, 2007; Pires et al., 2009b,c,d).

Atualmente, os estudos costeiros abordam a proteção do ambiente litoral e do património humano, mas também tópicos relacionados com a valorização económica do litoral. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm vindo a tornar-se uma importante ferramenta na gestão das áreas costeiras (e.g., Marçal et al., 2004; Gonçalves & Piqueiro, 2004; Pires et al., 2009c). Esta ferramenta, que tem provado ser muito eficaz em estudos costeiros, permite analisar diferentes matérias como a gestão de recursos, controlo da poluição e modificações da linha de costa com o auxílio de várias camadas de informação (*layers*) – e.g. mapas geológicos e topográficos; fotografia aérea de alta resolução; imagem de satélite ou *LIDAR* (Light Detection and Ranging) – e de inúmeras aplicações SIG e extensões disponíveis.

A erosão costeira está incluída numa temática bastante debatida e de grande interesse na atualidade, sendo a costa central portuguesa (entre Porto e Nazaré) uma das regiões da Europa mais vulnerável à erosão costeira (Alves et al., 2009; Roebeling et al., 2011). Segundo Bird (1993) aproximadamente 90% dos litorais, à escala global, encontram-se num processo de erosão, sendo de extrema importância as várias intervenções de proteção costeira realizadas. Estas podem ser agrupadas em três grandes classes, como se visualiza na figura 1.7 (Pires, 2005, 2007). De acordo com os diferentes fatores a considerar (e.g. características locais, hidráulica, dinâmica litoral, causas da erosão) o dimensionamento da obra marítima é planeado, considerando os distintos métodos de intervenção e limitações inerentes a cada um deles.

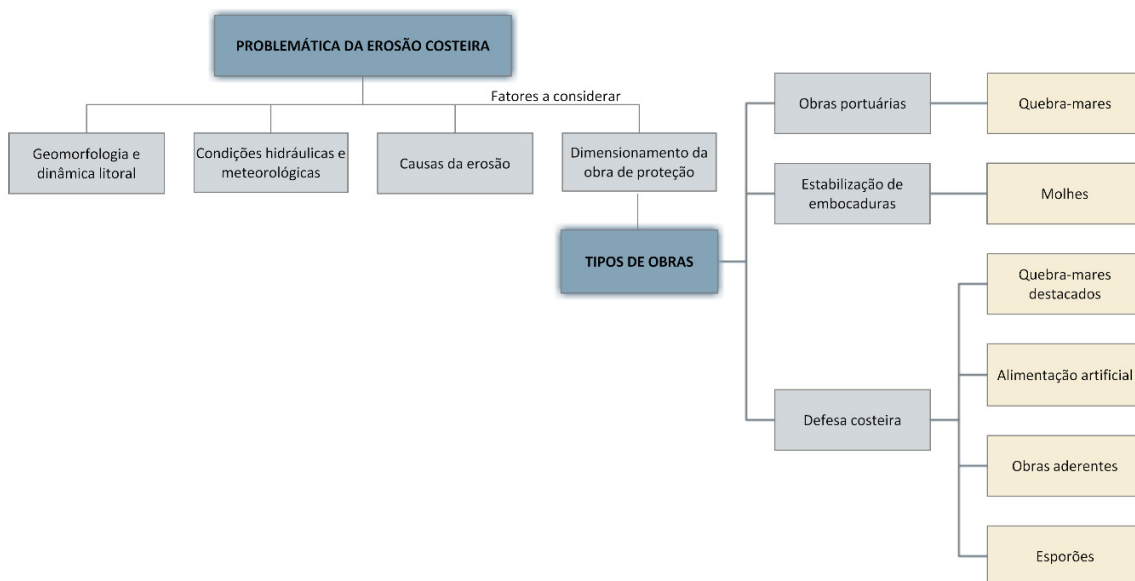


Figura 1.7 – Fatores a considerar relacionados com problemas de erosão costeira (adaptado de Pires, 2005, 2007).

De acordo com Veloso-Gomes (1991) e Coelho (2005), distinguem-se três métodos possíveis para as intervenções de proteção costeira: (i) as estruturas paralelas à costa; (ii) as estruturas perpendiculares à costa; e (iii) intervenções de alimentação (figura 1.8). Nas tabelas 1.3 a 1.5 encontram-se sintetizadas este tipo de obras de proteção costeira, sendo apresentada uma breve descrição ou definição, os seus princípios, limitações e exemplos ilustrativos.

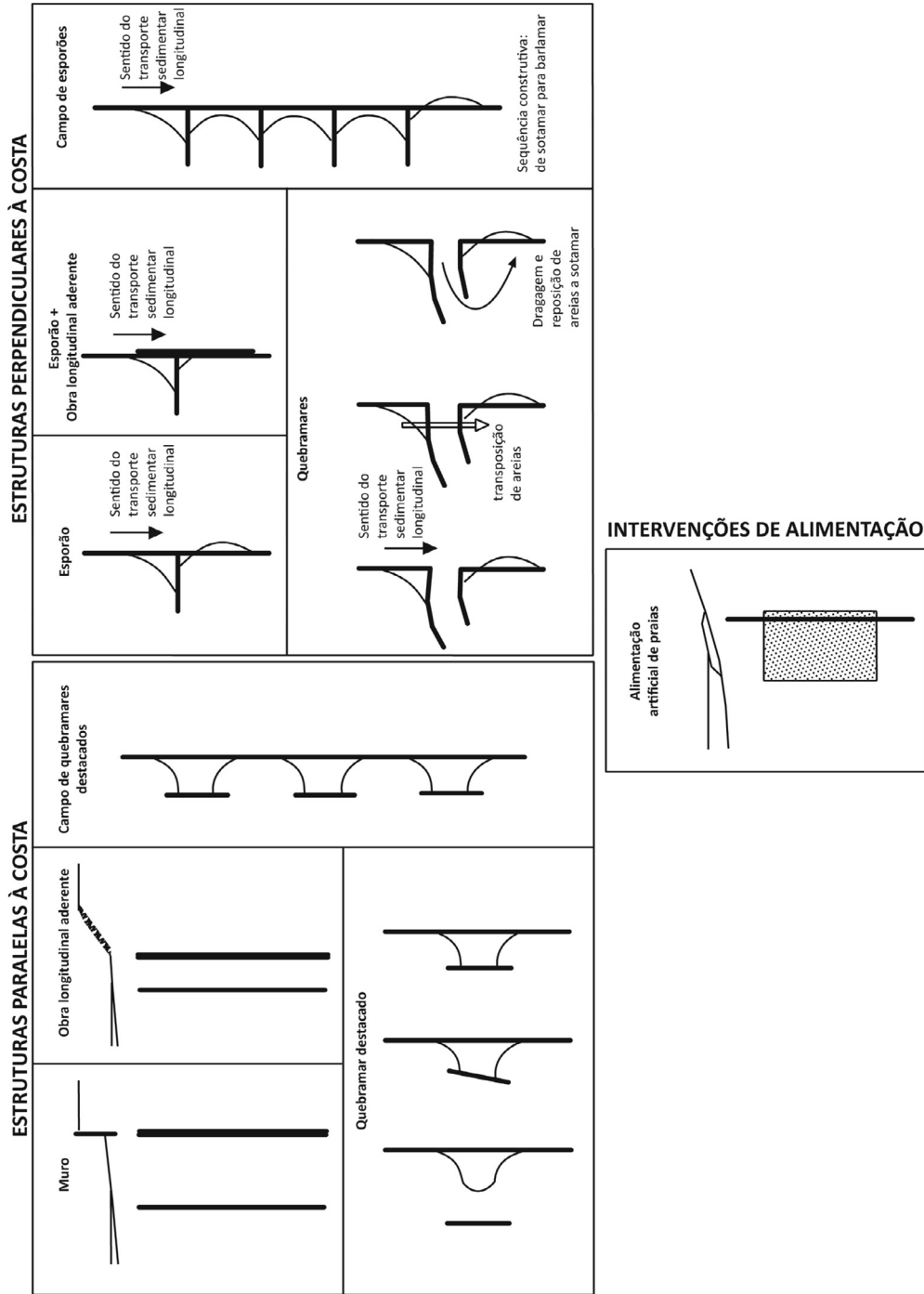


Figura 1.8 – Obras de proteção costeira (adaptado de Veloso-Gomes, 1991; Coelho, 2005).

Tabela 1.3 – Síntese dos diferentes tipos de obras de proteção – parte 1.


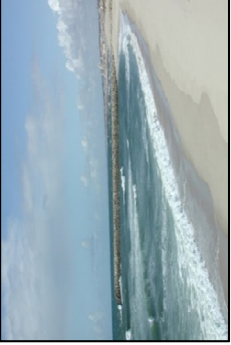

Tipos de obras	Descrição	Limitações	Exemplos
<p>Alimentação artificial</p>	<p>É um método ou um meio de contrariar a erosão das praias, usado como solução de emergência ou como solução final.</p>	<p>-</p>	 <p>Costa da Caparica (jornal o Público, 2011) Outros exemplos: Praia de Tamariz (Estoril), Porto de Portimão e Figueira da Foz</p>
<p>Esporrões</p>	<p>São estruturas geralmente perpendiculares à costa, fazendo com a normal uma ângulo pequeno, cuja função é reter o transporte litoral de areias, de modo a aumentar o seu volume, ou pelo menos, conservar uma praia que se encontra em erosão, chamando-a a participar na natural dissipação da energia das ondas. Normalmente são construídas em grupos, denominados por campo de esporões.</p>	<p>-</p>	 <p>Espinho – Esporão de Paramos (Dias, 2005) Outros exemplos: Quarteira, Estoril</p>
<p>Gabiões</p>	<p>Trata-se de uma “jaula” que é preenchida com rochas, com as dimensões de 1 metro por 1 metro. São empilhados até formar uma parede.</p>	<p>São usados para proteger penhascos ou áreas a curto prazo, pois são facilmente danificados pelas ondas e as “jaulas” têm tendência a enferrujar rapidamente. Os gabiões têm a vantagem de serem fáceis de usar e serem relativamente baratos, no entanto, a sua vida útil é curta.</p>	 <p>Exemplo da aplicação de gabiões (http://www.snh.org.uk/publications/online/heritagemanagement/erosion/images/pla-te-a16.jpg)</p>

Tabela 1.4 – Síntese dos diferentes tipos de obras de proteção – parte 2 (adaptado de Pires, 2005).

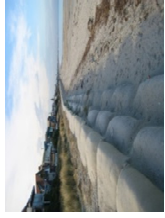
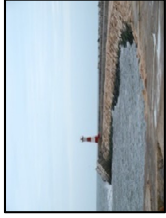




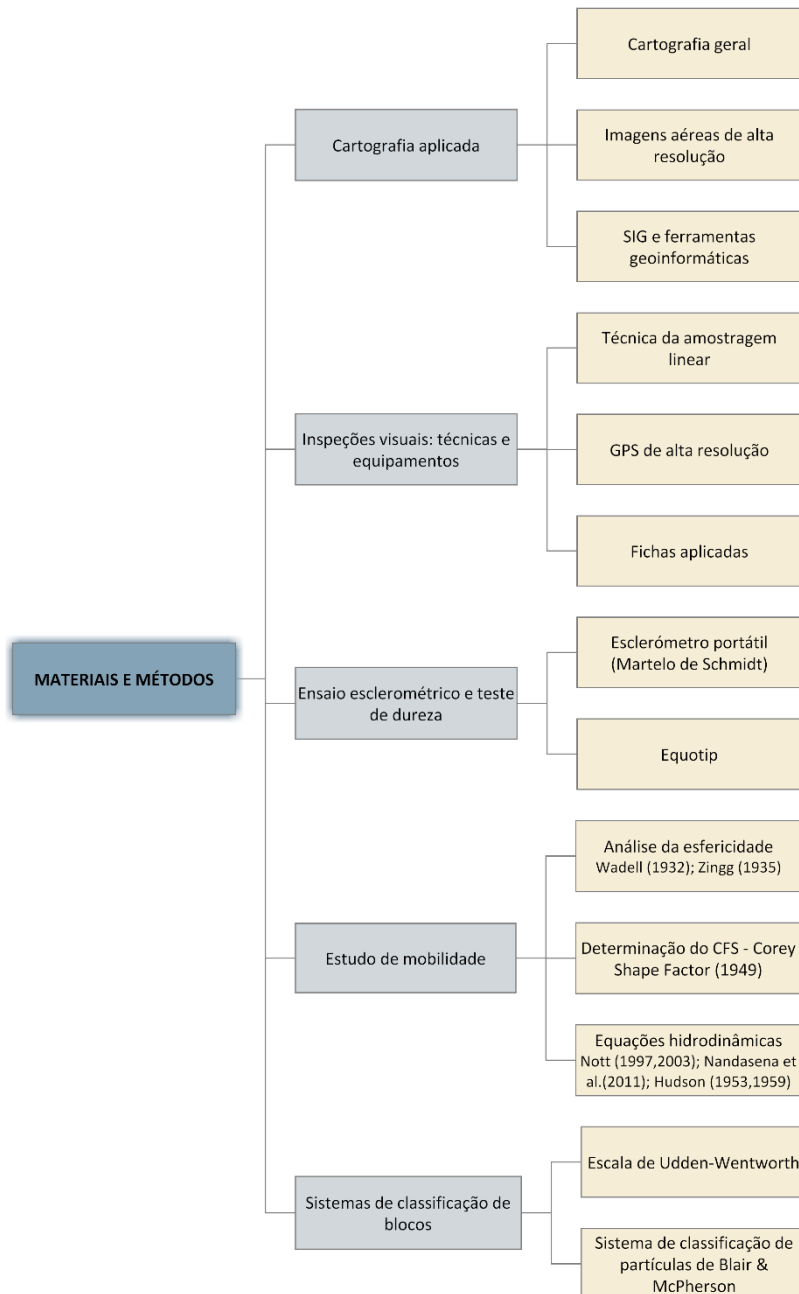
Tipos de obras	Descrição	Limitações	Exemplos
Geotêxteis	São estruturas permeáveis que servem para segurar os materiais, permitindo a passagem de água.	São recentes mas oferecem bons resultados na prevenção do retrocesso da praia. São estruturas flexíveis e podem ser reconfigurados se não estiverem a conferir bons resultados.	 <p>Aplicação de geotêxtil em Palm Island, Dubai (http://dfcbwbp89cp4qo.cloudfront.net/images/products/640/68.jpg)</p>
Molhes	É uma estrutura que se estende ao longo dum troço de água (rio ou costa) para proteger, dirigir e/ou confinar uma corrente natural ou a corrente originada pela maré, vento dominante,..., ao longo de um determinado canal de acesso ao rio ou ao porto, e contribuir para minorar a agitação e os assoreamentos.	A areia que se acumula entre os esporões contribui para um défice de sedimentos. Os problemas de erosão costeira são direcionados para outros locais.	 <p>Figueira da Foz (Consciente Audiovisuais e Multimédia Lda, 2011) (http://www.arquivodootodeaveiro.org/)</p>
Obras aderentes	Quando é necessário acudir, de emergência, a uma zona da terra que está a ser seriamente atacada pelo mar, recorre-se com frequência à construção de uma defesa colocada paralelamente à costa sobre a linha cujo recuo não se pode consentir. Tal tipo de defesa, que se destina fundamentalmente a resistir ao ataque do mar, pode ser genericamente designado por defesa longitudinal aderente, em oposição aos quebra-mares destacados que, separados da costa, atuam por um mecanismo totalmente distinto deste tipo de obras. As obras longitudinais aderentes não são aplicadas apenas como obras de emergência numa costa em recuo. Pode, por exemplo, à partida, pretender-se manter a costa numa posição avançada em relação aos troços vizinhos (razões turísticas, por exemplo). Também podem ser empregues, por vezes, para conservar, mesmo em condições precárias, uma praia que interessa manter. Contudo, neste caso, efeitos duradouros só são geralmente conseguidos à custa de combinação com outros métodos de defesa (esporões; alimentação artificial).	As obras aderentes, para além de não reterem os sedimentos que se encontram em movimento, acabam até, pela turbulência suplementar que criam, por contribuir para o aumento da erosão na sua base. Estes efeitos são difíceis de combater e chegam a constituir perigo de desmoronamento. No caso de se tratar de uma obra de talude de enrocamento, o problema não é assim tão grave pois, tratando-se de uma estrutura flexível, o colapso não é de recear. Apenas acontece que os blocos da base poderão ir sucessivamente afundando até uma posição estável. Outro inconveniente importante das obras longitudinais aderentes é que, não existindo, em geral, praia apreciável no seu pé, é grande a tendência para os galgamentos. Estes galgamentos, além dos incómodos que normalmente causam, contribuem muitas vezes para a erosão no tardo da estrutura.	 <p>Obra aderente de Espinho Outros exemplos: La Floresta (Uruguai), Defesa Mista da Costa da Caparica (Portugal)</p>

Tabela 1.5 – Diferentes tipos de obras de proteção – parte 3 (adaptado de Pires, 2005).

Tipos de obras	Descrição	Limitações	
<p>Quebra mares</p>	<p>É uma estrutura destinada a proteger um porto, ancoradouro ou uma baía, de forma a anular ou atenuar a ação destruidora/perturbadora das ondas sobre as áreas destinadas à movimentação e acostagem de navios</p>	<p>Os quebra-mares refletem a energia das ondas de uma forma destrutiva ou concentram-nas em pontos quentes. Problemas de erosão e os efeitos das correntes devido à má direção da energia levam a uma perda da praia/linha de costa e destroem as estruturas que deveriam estar protegidas.</p>	 <p>Porto de Leixões (www.apdl.pt) Outros exemplos: Porto de Sines</p>
<p>Quebra mares destacados</p>	<p>Do ponto de vista da erosão costeira, um quebra-mar destacado é uma estrutura sensivelmente paralela à costa e dela desligada, que tem por função proteger uma praia por efeito de abrigo relativamente à ação da ondulação. Estas estruturas proporcionam um processo de deposição de areias numa costa em erosão, dando origem a um novo equilíbrio, de que resultará uma linha de costa estável com um apropriado enchimento da praia. O aspeto resultante da praia constituída por uma série de quebra mares destacados é relativamente agradável, proporcionando uma área abrigada de fraca ondulação e de grande valor recreativo. Noutras circunstâncias, os quebra-mares destacados podem desempenhar outras funções, como sejam, abrigar a entrada de um porto e/ou desviar a zona de deposição de areias da entrada do canal de acesso ou ainda criar uma zona calma para refúgio de pequenas embarcações, para a instalação de uma conduta, etc.</p>	<p>Os quebra-mares de enrocamento constituem o tipo mais corrente usado, a sua principal desvantagem é a grande quantidade de material exigido para a sua construção, o que conduz naturalmente a um elevado custo.</p>	 <p>Virgínia, EUA (http://www.vims.edu) Outros exemplos: Póvoa de Varzim</p>
<p>Revestimentos</p>	<p>Trata-se de uma estrutura ligeiramente inclinada que absorve a energia das ondas mas permite a passagem de água e sedimentos. Os revestimentos com madeira eram constituídos por postes fixados na praia com estacas. Os revestimentos modernos já podem ser constituídos por betão ou blocos nas camadas de topo.</p>	<p>São adaptados para zonas costeiras com um ligeiro grau de inclinação. Poderá existir uma mudança na natureza do local, o que poderá levar a mudanças do ecossistema da própria costa.</p>	 <p>http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d4/Coastal_defences_at_Overstrand_-_geograph.org.uk_-_53240.jpg</p>

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E MÉTODOS



2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo engloba uma descrição das principais metodologias e técnicas utilizadas na execução deste projeto e também apresenta uma descrição geral dos diversos equipamentos aplicados, quer no trabalho de campo como de gabinete.

Na figura 2.1 é apresentado o equipamento básico para o trabalho de campo; desde o martelo de geólogo, bússola, câmara digital até à fita métrica. Também os netbooks ou notebooks, tablets e iPads, estão cada vez mais a ser utilizados no trabalho de campo na área das geociências, e por isso foram também incluídos nas ferramentas básicas (e.g. Clegg et al. 2006, Donatis & Bruciatelli 2006, Knoop & Pluijm 2006, Donatis et al. 2008, Wooster Geologists, 2009). No que diz respeito à utilização do equipamento portátil para determinação dos parâmetros básicos físico-químicos da água é de referir que este é, usualmente, aplicado em estudos hidrogeológicos na medição de parâmetros, tais como pH, temperatura e condutividade elétrica, (e.g. Assaad et al., 2004; Moore, 2011) sendo que neste estudo a sua aplicação focou-se apenas na medição do pH/temperatura da água do mar e nas geofomas costeiras (e.g. “potholes”) ao longo de plataformas rochosas (mais detalhes em Pires et al., 2014).



Figura 2.1 – Representação dos equipamentos utilizados (adaptado de Pires, 2013).

2.1. Cartografia aplicada

Os dados recolhidos, após contato com a área em estudo, foram introduzidos num sistema informático para serem facilmente sistematizados, com a colaboração da interpretação da cartografia de base. Como se observa na figura 2.2 o principal objetivo desta sistematização de resultados consiste na obtenção de mapas vetorizados, para posterior análise e discussão.

Este subcapítulo encontra-se dividido em três partes: descrição dos elementos da cartografia geral, imagens aéreas de alta resolução e referência aos SIG e ferramentas geoinformáticas utilizadas. A cartografia geral e os SIG apresentam um papel preponderante neste projeto, sendo que a cartografia permite obter uma representação gráfica (incluindo informação relativa a curvas de nível, pontos cotados, rede hidrográfica, entre outros), enquanto os SIG possibilitam a análise das relações espaciais, através da criação e armazenamento de dados em ferramentas computacionais, sendo possível a sua visualização através de diferentes perspetivas (Burke et al., 2001, Silayo, 2002).

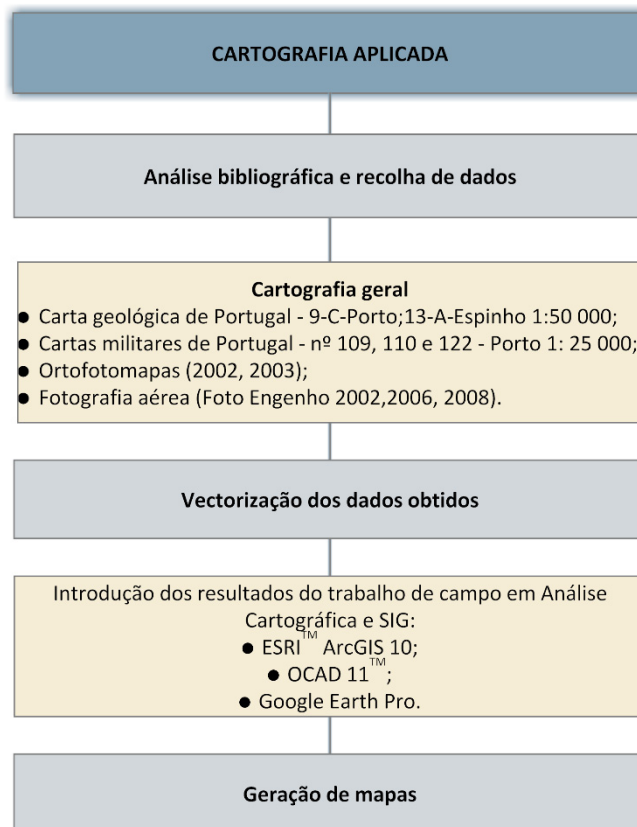


Figura 2.2 – Esquema da metodologia e cartografia aplicada.

2.1.1. Cartografia geral

No que diz respeito à cartografia geral, a consulta da Carta Geológica de Portugal – folhas 9C–Porto e 13A–Espinho (escala 1:50 000) e correspondentes notícias explicativas (Costa & Teixeira, 1957; Teixeira et al., 1962), bem como a Carta Militar de Portugal nº 109, 110 e 122 (escala 1:25 000), tornaram-se imprescindíveis à análise da área envolvente do caso de estudo.

2.1.2. Imagens aéreas de alta resolução

As fotografias aéreas foram também indispensáveis na busca de um maior entendimento dos processos ocorrentes e no enquadramento da zona estudada, contribuindo, ainda, para a realização de mapas temáticos (apoio da Empresa Foto-Engenho, na pessoa do Professor F. Piqueiro, para a aquisição e cedência do material fotográfico para a presente investigação no quadro de colaboração com o Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, anos 2002, 2006 e 2008). A aquisição das fotografias aéreas é conseguida através da instalação de uma câmara numa plataforma em meio aéreo, sendo as imagens captadas através da zona da porta direita do helicóptero por um operador. Previamente à realização do voo, efetuam-se os preparativos necessários, sendo de extrema importância o reconhecimento do terreno e a sua referência via GPS, assim como a preparação do plano de voo a definir. O suporte manual da câmara possibilita a correção de certos desvios, devido essencialmente a efeitos de turbulência e altitude, no entanto implica um grande conhecimento do terreno e atenta observação por parte do operador (Gonçalves & Piqueiro, 2004). Na figura 2.3 apresentam-se alguns resultados e exemplos da aquisição das imagens aéreas obtidas e aplicadas ao longo da dissertação.



Figura 2.3 – Alguns resultados dos voos realizados para complementar o trabalho cartográfico (realizado por Foto-Engenho): a - ano de 2002; b e c - ano de 2006 e d - ano de 2008).

2.1.3. SIG e ferramentas geoinformáticas

Os SIG e as ferramentas geoinformáticas têm vindo a ocupar um importante papel na análise geológica e geomorfológica de dados. Permitem obter modelos interrelacionados, possibilitando a rápida e fácil visualização de problemas, em termos políticos e legais, no que diz respeito essencialmente à questão da erosão costeira e respetivas obras de proteção (Pires et al., 2009a). A vectorização dos dados, análise e respetivo tratamento foi possível com o auxílio da ferramenta geoinformática “Esri™ ArcGIS version 10” (Esri, 2013). A ferramenta “OCAD for Cartography version 11” foi, também, útil na vectorização de dados, tendo sido aplicada na adaptação de várias figuras presentes nesta dissertação (OCAD, 2013) (figura 2.4).

Para análise estatística de orientação de dados geológicos recorreu-se ao programa Dips v.6 da Rocscience (Rocscience, 2013). O software Equolink 3 versão 2.0.2, foi explorado para consulta dos resultados obtidos através do Equotip (Proceq, 2013b).

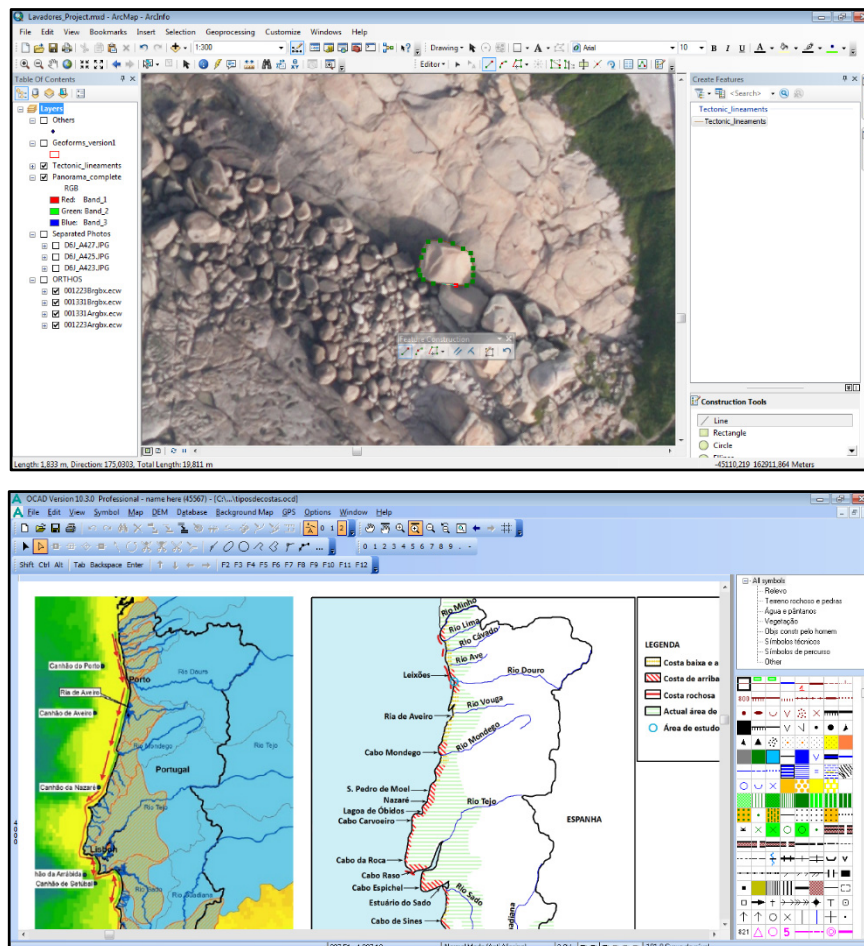


Figura 2.4 – Exemplos práticos da utilização dos programas ESRI™ ArcGIS e OCAD™.

2.2. Inspeções visuais: técnicas e equipamentos

Este subcapítulo consiste na descrição da técnica da amostragem linear (aplicada na análise de corredores de blocos rochosos), do equipamento de GPS de alta precisão, da criação de fichas aplicadas aos blocos rochosos e às geoformas, e, ainda, o uso de uma aplicação e base de dados para maciços rochosos com uma abordagem às costas e plataformas rochosas fraturadas. Foram utilizados, ainda, outros equipamentos auxiliares ao trabalho de campo, como a bússola para medição de atitudes geológicas (no caso presente, azimutes e mergulhos) e o martelo de geólogo, como elementos auxiliares na técnica da amostragem linear.

2.2.1. Técnica da amostragem linear

A técnica da amostragem linear consiste na utilização de uma fita métrica, esticada, posicionada em diferentes locais da rocha, permitindo o registo de características geométricas e geomecânicas de descontinuidades. Estes parâmetros são usualmente registadas em fichas de campo apropriadas (pormenores, por exemplo, em Dinis da Gama, 1995; Chaminé & Gaspar, 1995; Brady & Brown, 2004; Chaminé et al., 2014). Neste caso particular, a técnica foi aplicada numa abordagem diferente (Pires & Chaminé, 2007; Pérez-Alberti et al., 2012; Gómez-Pujol et al., 2014). A fita métrica foi esticada, permitindo analisar os blocos rochosos por ela intersetados. Com um total de 20 metros de comprimento, a fita serve como guia, de modo a obter a identificação e respetiva caracterização de blocos de uma forma sistemática e o mais correta e ordenadamente possível. A figura 2.5 ilustra a aplicação prática da técnica no trabalho de campo.



Figura 2.5 – Exemplos da utilização da técnica da amostragem linear aplicada às plataformas.

2.2.2. GPS de alta resolução

O modelo de GPS (*Trimble™ GPS GeoExplorer XH*) utilizado denomina-se *Geoexplorer 2005 Series* (figura 2.6). Consiste num equipamento portátil, de alta resolução, que providencia informação rigorosa sobre posicionamento e localização, e após a correção diferencial conseguem-se chegar a precisões de centímetros. A estação de referência Trimble RINEX de Gaia foi utilizada para corrigir os erros de medição dos dados adquiridos pelo GPS, efetuando assim, as correções durante o pós-processamento. Com recurso à antena interna do GPS obtém-se cerca de 30cm de precisão, enquanto com recurso à antena externa *Hurricane* consegue-se uma precisão de cerca de 10cm.

A utilização deste equipamento é extremamente vantajosa, pois permite armazenar uma grande quantidade de dados georreferenciados e que permitem posteriormente uma ligação direta à plataforma SIG, incluindo o armazenamento de mapas e acesso à rede Wireless e Bluetooth (Trimble, 2013).



Figura 2.6 – Modelo de GPS usado no trabalho de campo.

2.2.3. Fichas aplicadas

O trabalho de campo deste projeto foi realizado recorrendo ao preenchimento de duas fichas aplicadas, com o intuito de simplificar e sistematizar a recolha de dados relevantes para o caso em estudo. As fichas permitem a recolha de informações de modo ordenado, contendo as principais características a reter no que diz respeito à informação geral, condições hidrográficas, reconhecimento e caracterização dos blocos rochosos, textura, estrutura e sua resistência.

As figuras 2.7 e 2.8 correspondem às partes 1 e 2 do inventário de blocos rochosos, enquanto as figuras 2.9 e 2.10 correspondem ao preenchimento do inventário relativo às geoformas, estando representado como exemplo, uma marmita.

Registam-se dados como coordenadas (latitude e longitude), a hora e local. As condições hidrográficas podem também ser sintetizadas na ficha, não necessariamente aquando o trabalho

de campo, mas pode ser uma operação a realizar em gabinete. Segue-se a informação relativa ao reconhecimento e caracterização dos blocos rochosos, sendo possível o preenchimento de dados relativos à sua dimensão, forma, posição, coordenadas geográficas, entre outros.

Na segunda parte da ficha resumem-se as características que definem a textura dos blocos, a estrutura e resistência, sendo recolhidos os valores obtidos através da utilização do Esclerómetro portátil e do Equotip.

Segue-se um processo semelhante no preenchimento do inventário de geoformas.

Recorreu-se, ainda, à base de dados designada por GeoTech|CalcTools que engloba as aplicações geo-informáticas ScanGeoData|BGD e SchmidtData|UCS (Fonseca et al., 2010; Galiza et al., 2011a, b, c; Pinheiro et al., 2014).

Esta base de dados foi desenvolvida nas configurações mais avançadas do MS. Excel® relacionada com os maciços rochosos (Chaminé et al., 2013, Pinheiro et al. 2014). O principal objetivo ao usar esta aplicação foi de uniformizar e sistematizar toda a informação recolhida em campo, de modo a organizar todos os dados numa única plataforma com parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos (figura 2.11).

Esta base foi usada ao longo deste estudo para sistematizar e analisar todos os dados obtidos relativamente à avaliação das plataformas rochosas (Pires et al., 2014). Também foi usada para recolher dados das orientações em costas rochosas fraturadas.

A aplicação GeoTech|CalcTools reúne toda a caracterização relacionada com as descontinuidades em termos geológicos, geotécnicos e geomecânicos e ainda alguns parâmetros ou propriedades relativas aos maciços rochosos (e.g. descrição geral; descrição básica da geologia estrutural; grau de alteração; descrição geral geotécnica das descontinuidades; avaliação geomecânica *in situ*).

De um modo geral, esta aplicação informática permitiu o controlo e análise de todos os tipos de medidas e dados recolhidos e adquiridos ao longo da costa e plataforma rochosa estudada.

COASTAL Boulders INVENTORY

I. GENERAL INFORMATION

SITE: Lavadores
 ID: 11
 DATE: 06-08-2012
 TIME: 14h41

GEOGRAPHIC COORDINATES (STUDY AREA)
 LONGITUDE: -08° 40' 19,204"
 LATITUDE: 41° 08' 04,550"



OBSERVATIONS:

II. HYDROGRAPHIC CONDITIONS

TIDE GAUGE (Location):	*	MARINE WATER TEMPERATURE (°C):	15	IN SITU MEASUREMENT	
WAVE HEIGHT (Hs, m):	0,76	CURRENT SPEED (km/h):	19	pH:	-
WAVE HEIGHT(Hmax, m):	3,31	CURRENT DIRECTION:		ELECT. COND. (mS/cm):	-
TIDAL RANGE:	-	WIND SPEED (km/h):	19	TEMPERATURE (°C):	-
WAVE PERIOD (sec.):	7	WIND DIRECTION:	NW-SE		
WAVE DIRECTION:	W-E				

OBSERVATIONS: * Available data from: <http://www.hidrografico.pt/> (for Leixões Gauge) and <http://www.windguru.cz/> (Gaia Canidelo site)

III. RECOGNITION AND CHARACTERISATION OF COASTAL BOULDERS

COASTAL/boulder CONDITIONS

<p>SHAPE (IN SITU)</p> <p>CIRCLE <input type="checkbox"/></p> <p>ELLIPSOIDAL <input type="checkbox"/></p> <p>IRREGULAR <input type="checkbox"/></p>	<p>SURFACE</p> <p>NONE <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>VEGETATION <input type="checkbox"/></p> <p>SOIL <input type="checkbox"/></p> <p>SALT <input type="checkbox"/></p> <p>ALGAE <input type="checkbox"/></p> <p>ORGANISMS / SHELLS <input type="checkbox"/></p> <p>SAND <input type="checkbox"/></p>	<p>SPATIAL RELATIONSHIP OR DEPOSITION/ACCUMULATION</p> <p><input type="checkbox"/> Isolated</p> <p><input type="checkbox"/> Channel-imbriated boulder group</p> <p><input type="checkbox"/> Imbricated boulder group-step edge</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Corridor groups</p> <p><input type="checkbox"/> Chaotic groups along the platform</p> <p><input type="checkbox"/> Chaos of blocks</p> <p><input type="checkbox"/> "Rollers"</p>	<p><input type="checkbox"/> Non eroded</p> <p><input type="checkbox"/> Eroded (round, smaller)</p>
<p>DIMENSION (m)</p> <p>LENGTH (LARGE): 1,5</p> <p>WIDTH (SHORT): 0,6</p> <p>DEPTH (INTERM): 0,9</p>	<p>GEOGRAPHIC COORDINATES</p> <p>LONGITUDE: -08° 40' 14,228"</p> <p>LATITUDE: 41° 08' 02,875"</p> <p>ALTITUDE (m): 4,4</p>	<p>PHOTO(S)</p>	
<p>POSITION</p> <p>STRIKE (ORIENTATION): N288ºE / 10ºSW</p> <p>PLUNGE (SLOPE):</p> <p>Type of beach (general description):</p>	<p>Platform Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p> <p>Surface (Platform) Roughness <input type="checkbox"/> Smoothness <input checked="" type="checkbox"/> Continuous <input checked="" type="checkbox"/> Descontinuous <input type="checkbox"/></p> <p>Mean slope direction (platform): 7ºW</p> <p>Boulder path Nr.: 1A</p> <p>Orientation of paths: N300ºE</p>		

OBSERVATIONS:

Figura 2.7 – Ficha de inventário da caracterização de blocos rochosos - parte 1 (Pires, 2013; Pires et al., 2014).


COASTAL Boulders INVENTORY

COASTAL|boulder TEXTURE

LITHOLOGY: Lavadores site is comprised mainly by medium to coarse grained granitic rocks and gneisses

MINERALOGY: Mainly biotite, quartz and feldspar megacrystals (late to post-orogenic Variscan granite), as well as occurred microgranular enclaves which are generally ovoid, finer grained, richer in mafic minerals

SKETCH



XENOLITHS
DESCRIPTION: Dark microgranular restitic

MEGACRYSTALS
DESCRIPTION: K feldspar (orthoclase)

VEINS
DESCRIPTION: Very thick quartz veins

WEATHERING GRADE: W₁ to W₃

COLOUR: Reddish-pink to grey

OBSERVATIONS:

COASTAL|boulder STRUCTURE

DISCONTINUITIES (platform)	ORIGIN	PROCESSES
FAULT <input checked="" type="checkbox"/>	MECHANICAL (wave attack) <input checked="" type="checkbox"/>	ACTIVE <input checked="" type="checkbox"/>
FISSURE / CRACK <input type="checkbox"/>	MECHANICAL (weathering/joints) <input checked="" type="checkbox"/>	INACTIVE <input type="checkbox"/>
JOINT <input checked="" type="checkbox"/>	CHEMICAL <input type="checkbox"/>	
FAULT GOUGE <input type="checkbox"/>	ANTHROPIC <input type="checkbox"/>	

COASTAL|boulder STRENGTH

SCHMIDT HAMMER TYPE (MODEL): L/LR

GEOMECHANICAL STATION NUMBER: 1

SCHMIDT HAMMER POSITION:

OBSERVATIONS: Rock matrix

REBOUND VALUES, R AND / OR HARDNESS VALUES, HLD

56	52	60	57	62
58	54	57	60	54
54	60	54	50	59
61	54	60	61	61
59	61	61	58	56

EQUOTIP TYPE (MODEL): Equotip 3

GEOMECHANICAL STATION NUMBER: 1

SCHMIDT HAMMER POSITION:

OBSERVATIONS: Rock matrix

REBOUND VALUES, R AND / OR HARDNESS VALUES, HLD

369	523	243	629	243
337	642	440	436	725
462	807	809	660	770
611	736	539	636	786
390	810	806	582	304

GEOMECHANICAL STATION NUMBER: _____

SCHMIDT HAMMER POSITION:

OBSERVATIONS: _____

REBOUND VALUES, R AND / OR HARDNESS VALUES, HLD

GEOMECHANICAL STATION NUMBER: _____

SCHMIDT HAMMER POSITION:

OBSERVATIONS: _____

REBOUND VALUES, R AND / OR HARDNESS VALUES, HLD

GENERAL INFORMATION

ELABORATED: AP
REVISED: HIC

VERSION: v005
DATE: Oct. 2012

Figura 2.8 – Ficha de inventário da caracterização de blocos rochosos - parte 2 (Pires, 2013; Pires et al., 2014).

1 / 2

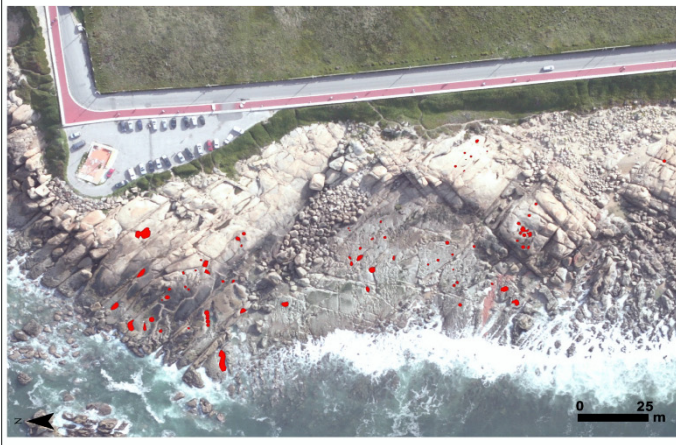
GeoFORMS INVENTORY
I. GENERAL INFORMATION

SITE: Lavadores

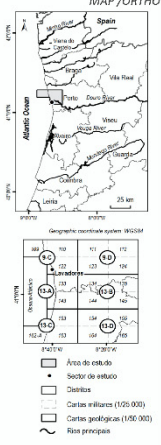
ID: 15

DATE: 17-02-2012

TIME: 15h30



MAP / ORTHO






OBSERVATIONS:

II. HYDROGRAPHIC CONDITIONS

TIDE GAUGE (Location): *	MARINE WATER TEMPERATURE (°C): 14	IN SITU MEASUREMENT
WAVE HEIGHT (Hs, m): 1,2	CURRENT SPEED (km/h): -	pH: 8,5
WAVE HEIGHT(Hmax, m): 2,7	CURRENT DIRECTION: W-E	ELECT. COND. (mS/cm): >3999
TIDAL RANGE: -	WIND SPEED (km/h): 6	TEMPERATURE (°C): 11,2
WAVE PERIOD (sec.): 13	WIND DIRECTION: NW-SE	
WAVE DIRECTION: W-E		

OBSERVATIONS: http://www.hidrografico.pt/ (for Leixões Gauge) and <http://www.windguru.cz/> (Gaia-Canidelo site)"/>

III. RECOGNITION AND CHARACTERISATION

CODE: PH	PHOTO(s)	SCHEME
DESCRIPTION: Pothole		Individual
GEOGRAPHIC COORDINATES		
LONGITUDE: -08° 40' 14,768"		
LATITUDE: 41° 08' 00,098"		
ALTITUDE (m): 3,8		
SYMBOLLOGY		
		

GeoFORM CONDITIONS

SHAPE CIRCLE <input type="checkbox"/> ELLIPSOIDAL <input type="checkbox"/> IRREGULAR <input type="checkbox"/>	SPATIAL RELATIONSHIP ISOLATED <input checked="" type="checkbox"/> CLUSTER <input type="checkbox"/>	FILLING NONE <input type="checkbox"/> VEGETATION <input type="checkbox"/> SOIL <input type="checkbox"/> SALT <input checked="" type="checkbox"/> ALGAE <input checked="" type="checkbox"/> ORGANISMS / SHELLS <input checked="" type="checkbox"/> SAND <input checked="" type="checkbox"/>	WATER <input checked="" type="checkbox"/> WATER COLUMN (m): 0,2 HYDROLOGIC PARAMETERS pH: 10,6 ELECT. COND. (mS/cm): >3999 TEMPERATURE (°C): 14,7
DIMENSION (m) DIAMETER: - LENGTH: 0,8 WIDTH: 0,6 DEPTH: 0,35		CLASTS (BLOCKS) \bar{x} NUMBER: 1 AVERAGE DIMENSION (m) LENGTH: 0,6 WIDTH: 0,4 HEIGHT: 0,2 LITHOLOGY: Granite	
OBSERVATIONS: <input style="width: 100%;" type="text"/>			

Figura 2.9 – Ficha de inventário das geofomas - parte 1 (Pires, 2013; Pires et al., 2014).

GeoFORMS INVENTORY

GeoFORM TEXTURE

LITHOLOGY: Lavadores site is comprised mainly by medium to coarse grained granitic rocks and gneisses

MINERALOGY: Mainly biotite, quartz and feldspar megacrystals (late to post-orogenic Variscan granite), as well as occurred microgranular enclaves which are generally ovoid, finer grained, richer in mafic minerals



XENOLITHS DESCRIPTION: Dark microgranular restitic

VEINS DESCRIPTION: Very thick quartz veins

MEGACRYSTALS DESCRIPTION: K feldspar (orthoclase)

WEATHERING GRADE: W₁ to W₃

COLOUR: Reddish-pink to grey

OBSERVATIONS:

GeoFORM STRUCTURE

DISCONTINUITIES
 FAULT
 FISSURE / CRACK
 JOINT
 FAULT GOUGE
 ORIENTATION: N 128 ° E

ORIGIN
 MECHANICAL
 CHEMICAL
 ANTHROPIC

PROCESSES
 ACTIVE
 INACTIVE

GeoFORM STRENGTH

SCHMIDT HAMMER TYPE (MODEL): L/LR

EQUOTIP TYPE (MODEL):

GEOMECHANICAL STATION NUMBER: 1
 TEST LOCATION: BORDER INSIDE BLOCK
 SCHMIDT HAMMER POSITION:
 OBSERVATIONS: Rock matrix

GEOMECHANICAL STATION NUMBER:
 TEST LOCATION: BORDER INSIDE BLOCK
 SCHMIDT HAMMER POSITION:
 OBSERVATIONS:

REBOUND VALUES, R AND / OR HARDNESS VALUES, HLD

44	36	40	42	48
38	35	33	46	44
40	46	46	46	42
46	54	54	47	65
50	53	52	39	39

REBOUND VALUES, R AND / OR HARDNESS VALUES, HLD

GEOMECHANICAL STATION NUMBER: 2
 TEST LOCATION: BORDER INSIDE BLOCK
 SCHMIDT HAMMER POSITION:
 OBSERVATIONS: Rock matrix

GEOMECHANICAL STATION NUMBER:
 TEST LOCATION: BORDER INSIDE BLOCK
 SCHMIDT HAMMER POSITION:
 OBSERVATIONS:

REBOUND VALUES, R AND / OR HARDNESS VALUES, HLD

45	47	30	34	33
54	45	45	45	46
38	35	31	30	47
56	54	41	33	40
48	40	42	41	48

REBOUND VALUES, R AND / OR HARDNESS VALUES, HLD

GENERAL INFORMATION

ELABORATED: AP
 REVISSED: HIC
 VERSION: 2
 DATE: April 2012

Figura 2.10 – Ficha de inventário das geoformas - parte 2 (Pires, 2013; Pires et al., 2014).

2.3. Ensaio esclerométrico e ensaio de dureza

Para medição da resistência dos materiais foram utilizados dois equipamentos portáteis: (i) o esclerómetro portátil (martelo de Schmidt); e (ii) Equotip, ambos da marca Proceq™. Na secção seguinte será realizada uma breve descrição dos equipamentos.

2.3.1. Esclerómetro portátil (Martelo de Schmidt)

Através do ensaio esclerométrico, em laboratório ou em campo (e.g., ISRM, 1981; Katz et al., 2000; Al-Harhi, 2001; ASTM, 2001; Kahraman et al., 2002), efetua-se uma avaliação da resistência mecânica do material-rocha à compressão uniaxial simples. Os resultados obtidos são importantes para o estudo do grau de alteração e de resistência dos blocos rochosos e em estudos comparativos e de correlação litológica de materiais (Pires, 2007).

O esclerómetro portátil consiste num aparelho que, através da medição do ressalto de uma massa de aço quando percutida sobre a superfície do bloco rochoso, avalia a dureza do material-rocha. Antes da utilização do aparelho há que ter em conta que a superfície deve estar limpa e não devem existir fissuras na zona a ensaiar. Em função da resistência, a massa de aço sofre maior ou menor ressalto (Pires, 2005; Proceq, 2013a).

No trabalho de campo utilizou-se um esclerómetro do tipo L, da marca PROCEQ™, disponibilizado pelo Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA|ISEP). Registaram-se 25 impactos com o martelo (figura 2.12), considerando o valor médio das medições para posterior consulta no ábaco de Miller.



Figura 2.12 – Exemplos de utilização do esclerómetro portátil no trabalho de campo.

Recorre-se ao ábaco de Miller (figura 2.13), de modo a determinar a resistência à compressão simples, também denominada UCS (Uniaxial Compressive Strength). Assim, a partir da dureza de Schmidt e da densidade média do material-rocha, obtém-se o valor de resistência (ISRM,1978a, b, 2007).

UCS – Uniaxial Compressive Strength

N – resistência (martelo de Schmidt)

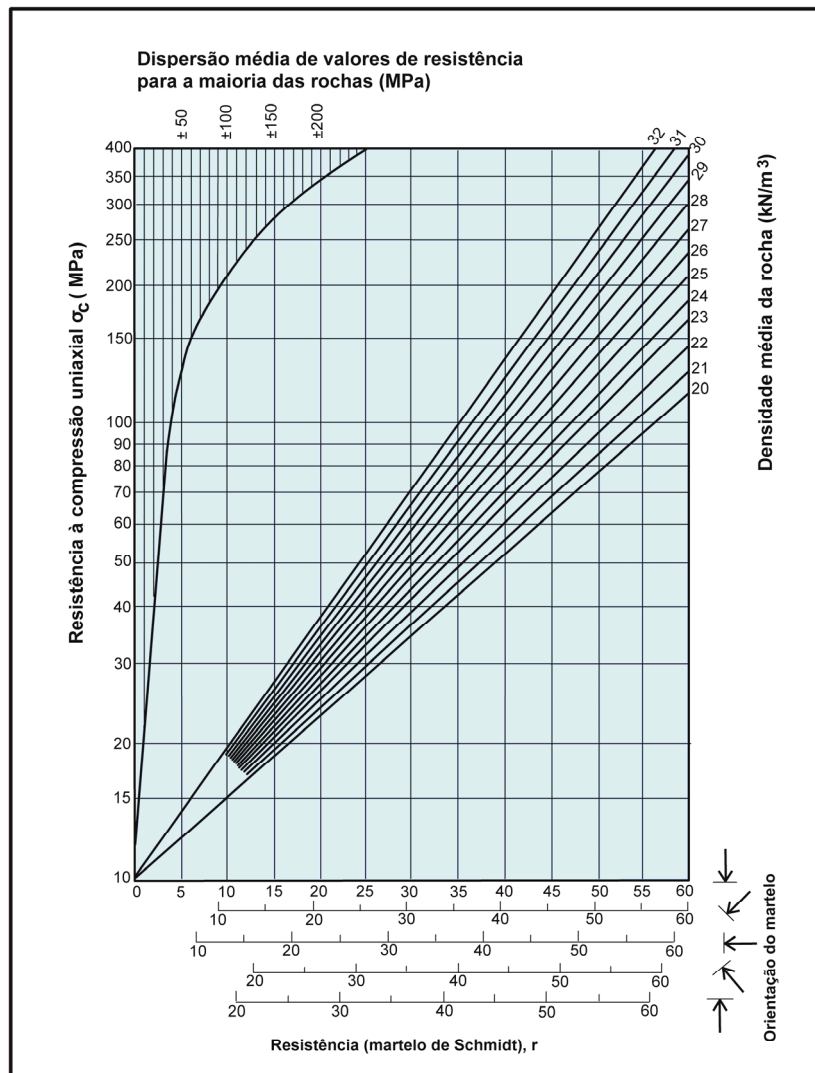


Figura 2.13 – Ábaco de Miller (Ábaco de Miller (adaptado de González de Vallejo & Ferrer, 2011)).

Por fim, consultando a tabela 2.1 obtém-se a caracterização da rocha, no que diz respeito à resistência à compressão uniaxial.

Tabela 2.1 – Resistência à compressão uniaxial (adaptado de ISRM, 1978a, 1978b, 2007).

Intervalos MPa (Kg/cm ²)	Símbolos		Designações	
> 200 (> 2000)	S1	S ₁₋₂	Muito Elevada	Elevada
60-200 (600-200)	S2		Elevada	
20-60 (200-600)	S3	S ₃	Média	Média
6-20 (60-200)	S4	S ₄₋₅	Baixa	Baixa
< 6 (< 60)	S5		Muito baixa	

2.3.2. Equotip

Este equipamento portátil tem provado ser bastante útil, principalmente quando utilizado juntamente com outros métodos, como o Martelo de Schmidt, para determinar a dureza das superfícies (rochosas e de betão) (Proceq, 2012). O princípio de funcionamento deste aparelho (Equotip3-Proceq™) baseia-se num simples teste de dureza dinâmico. Um corpo de impacto com ponta de metal é impelido, através da força de uma mola, contra a superfície do bloco rochoso. Quando a ponta de metal atinge a superfície da rocha, ocorre perda de energia cinética, sendo esta energia calculada antes e depois do ricochete (Proceq, 1977; Proceq, 2013b). Após disparo do equipamento o valor de dureza é exibido no painel, como se pode visualizar na figura 2.14.



Figura 2.14 – Aplicação do equipamento Equotip nas plataformas rochosas e em blocos.

2.4. Estudo de mobilidade

Para o estudo de mobilidade e, em particular, a geometria de blocos, recorreu-se à esfericidade de Wadell (1932, 1933, 1935) e ao cálculo de rácios (referentes às dimensões geométricas) que permitem a obtenção de diferentes representações no diagrama de Zingg (1935). Esta análise à esfericidade permite tirar conclusões em termos de mobilidade dos próprios blocos rochosos e da maior facilidade ou não de imbricamento (interconexão) entre eles, realizando-se assim, uma análise aos corredores na plataforma rochosa em termos de movimento de blocos.

Recorreu-se também às adaptações dos estudos de Nott (1997, 2003), Nandasena et al. (2011) e, ainda, estudo de Hudson (1953, 1959) para cálculo da altura mínima de onda (tabela 2.2) que é

necessária para induzir o movimento de um bloco rochoso, permitindo uma análise crítica e comparativa dos resultados obtidos e, relacionando com o clima de agitação do local, determinar a mobilidade de um bloco, registado fotograficamente no intervalo de 2012 a 2014.

2.4.1. Análise da esfericidade de Wadell (1932); Zingg (1935)

Wadell (1932) introduz a definição de esfericidade de partículas, relacionando área e volume das mesmas. Zingg (1935) dá continuidade ao estudo de Wadell, caracterizando de modo mais completo a forma das partículas, utilizando três eixos: comprimento (eixo maior); altura (eixo intermédio); largura (eixo menor). O diagrama de Zingg (figura 2.15) consiste numa representação gráfica, que representa a natureza da geometria da partícula, através do cálculo do rácio altura/comprimento ao longo do eixo Y e rácio largura/altura ao longo do eixo X (Cavarretta et al., 2009). Através desta caracterização, obtém-se quatro tipos de classificação de formas: acicular, esferoidal, lamelar, discoidal (Ramos, 2000; Dias, 2004).

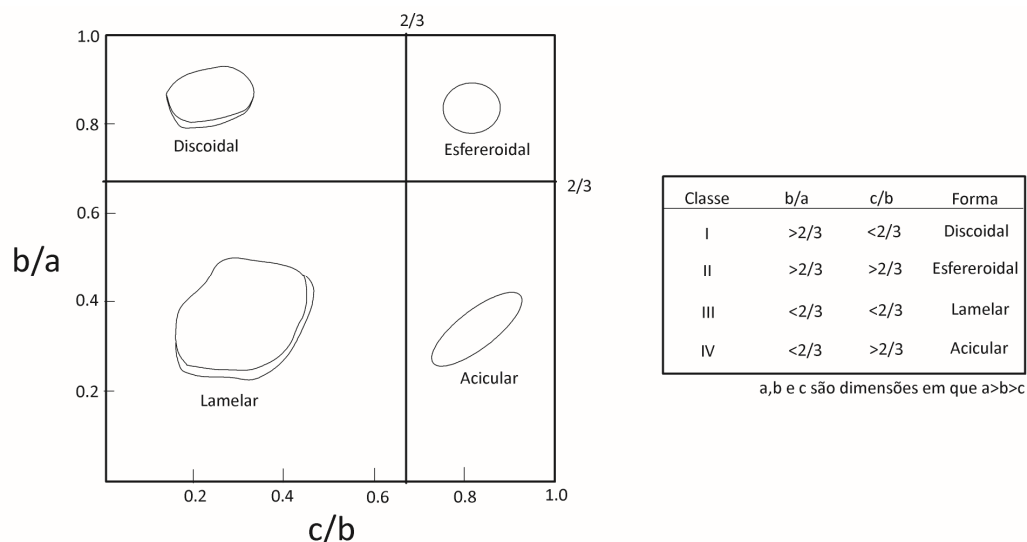


Figura 2.15 – Classificação da esfericidade de partículas (adaptado de Zingg, 1935).

2.4.2. Determinação do Corey Shape Factor (1949)

O fator de forma de Corey (1949) permite determinar o grau a partir do qual um bloco rochoso difere de uma esfera perfeita, sendo que o CSF para uma esfera equivale a uma unidade (Corey, 1949; Komar, 1980). Para determinação deste fator de forma recorre-se à seguinte fórmula:

$$CSF = \frac{c}{(ab)^{1/2}}$$

Sendo a, b e c dimensões dos blocos (maior, intermédia e menor, respetivamente)

2.4.3. Equações hidrodinâmicas

Na tabela 2.2 pode visualizar-se uma síntese das equações utilizadas no estudo de mobilidade, de modo a determinar a altura de onda mínima para se iniciar o transporte de um bloco.

Tabela 2.2 – Síntese das equações utilizadas no estudo de mobilidade.

Autor	Equações & breve descrição
Nott, 1997	$H_t \geq (\rho_s - \rho_w / 4\rho_w) \left(\frac{2a}{C_d \frac{ac}{b^2} + C_l} \right) \quad H_s \geq (\rho_s - \rho_w / \rho_w) \left(\frac{8a}{C_d \frac{ac}{b^2} + C_l} \right)$ <p>Determinação da altura de onda mínima (H), rebentada, para induzir o transporte de um bloco, de acordo com ocorrência possível de tsunamis ou tempestade "storm events".</p>
Nott, 2003	<p><i>Tsunami</i> $H_{tSM} \geq \frac{0.25 (\rho_s - \rho_w / \rho_w) 2a}{C_d \frac{ac}{b^2} + C_l}$ $H_{tSA} \geq \frac{0.25 (\rho_s - \rho_w / \rho_w) \left(2a - C_m \frac{a}{b} \frac{\ddot{u}}{g} \right)}{C_d \frac{ac}{b^2} + C_l}$</p> <p><i>Tempestade "storm events"</i> $H_{sSM} \geq \frac{(\rho_s - \rho_w / \rho_w) 2a}{C_d \frac{ac}{b^2} + C_l}$ $H_{sSA} \geq \frac{(\rho_s - \rho_w / \rho_w) \times \left(2a - 4 C_m \frac{a}{b} \frac{\ddot{u}}{g} \right)}{C_d \frac{ac}{b^2} + C_l}$</p> <p>Determinação da altura de onda mínima (H), a rebentar, para induzir o transporte de um bloco, de acordo com ocorrência possível de tsunamis ou tempestade "storm events". Ter em consideração dois cenários possíveis de bloco submerso (SM) ou bloco subaéreo (SA).</p>
Nandasena et al., 2011	<p><u>Deslizamento</u> $u^2 \geq \frac{2 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) gc (\mu \cos\theta + \sin\theta)}{C_d \frac{c}{b} + \mu_s C_l}$ <u>Rolamento</u> $u^2 \geq \frac{2 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) gc \left(\cos\theta + \frac{c}{b} \sin\theta \right)}{C_d \frac{c^2}{b^2} + C_l}$</p> <p><u>Salto/Levantamento</u> $u^2 \geq \frac{2 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) gc \cos\theta}{C_l}$</p> <p>Determinação da mínima velocidade de onda para iniciar o transporte dos blocos, tendo em consideração três cenários de transporte inicial: Deslizamento ("sliding"); Rolamento ("Rolling"); Salto/levantamento ("Saltation/Lifting").</p>
Hudson, 1953, 1959	$W_{50} = \frac{\rho_r g H^3}{K_D \Delta^3 \cot\alpha} \Leftrightarrow H^3 = \frac{W_{50} K_D \Delta^3 \cot\alpha}{\rho_r g}$ <p>A fórmula de Hudson é normalmente utilizada para determinação da massa dos blocos do manto resistente de um quebra-mar. Neste estudo, recorreu-se a esta fórmula empírica para determinação da altura significativa de onda, para comparação com valores obtidos por outras equações.</p>

Nota: Parâmetros das equações descritos pormenorizadamente no ponto 5.4.

2.5. Sistema de classificação de blocos

O sistema de classificação descrito neste subcapítulo baseia-se na escala granulométrica de Udden-Wentworth e a sua importância incide na análise de materiais em termos granulométricos, sendo vital para a classificação de ambientes sedimentares.

2.5.1. Escala de Udden-Wentworth

A escala granulométrica de Udden-Wentworth é bastante útil na descrição do tamanho de blocos rochosos, em particular de grandes dimensões (Blair & McPherson, 1999). A grande maioria dos estudos em sedimentologia baseiam-se na utilização desta classificação de Udden (1914), revista posteriormente por Wentworth (1922). Para facilitar a representação gráfica e a manipulação estatística de dados granulométricos, Krumbein (1934) propôs que a escala dos limites deveria ser logaritmicamente transformada em valores ϕ (Φ), como pode visualizar-se na tabela 2.3., utilizando a expressão $\Phi = -\log_2 d$, sendo d o diâmetro em milímetros (Blott & Pye, 2001).

Tabela 2.3 – Escala Udden-Wentworth (adaptado de Dias, 2004).

ϕ	Português	Inglês	mm
-9	Bloco	Boulder	512
-8			256
-7	Seixo	Cobble	128
-6			64
-5			32
-4	Cascalho muito grosseiro	Very coarse gravel	16
-3	Cascalho grosseiro	Coarse gravel	8
-2	Cascalho médio	Medium gravel	4
-1	Cascalho fino	Fine gravel	2
0	Areia muito grosseira	Very coarse sand	1,000
1	Areia grosseira	Coarse sand	0,500
2	Areia média	Medium sand	0,250
3	Areia fina	Fine sand	0,125
4	Areia muito fina	Very fine sand	0,0625
5	Silte grosseiro	Coarse silt	31,25
6	Silte médio	Medium silt	15,63
7	Silte fino	Fine silt	7,81
8	Silte muito fino	Very fine silt	3,91
9	Argila grosseira	Coarse clay	1,95
10	Argila média	Medium clay	0,98
11	Argila fina	Fine clay	0,49
12	Argila muito fina	Very fine clay	0,24
13	Colóides	Colloid	0,12

2.5.2. Sistema de classificação de partículas de Blair & McPherson

Convém salientar que, à semelhança do estudo efetuado em Pérez-Alberti et al. (2012), foi usada uma abordagem adaptada e numa perspetiva aplicada às costas rochosas a escala revista de Udden-Wentworth (Blair & McPherson, 1999) foi aplicada (tabela 2.4). O tamanho do grão fino, médio, grosseiro e muito grosseiro para a classe bloco (“boulder” ou “coído”) variam entre 25.6 a 51.2 cm (-8 a -9 ϕ), 51.2 a 102.4 cm (-9 a -10 ϕ), 102.4 a 204.8 cm (-10 a -11 ϕ), e 204.8 a 409.6 cm (-11 a -

12 φ), respetivamente (Pérez-Alberti et al., 2012). Atualmente já existem outras propostas de revisão à nomenclatura e terminologia para a escala de Udden-Wentworth que merecem também atenção e alguma análise (e.g. Terry & Goff, 2014).

Em Pérez-Alberti et al. (2012), a classificação e a determinação dos perfis de praia, seguiram de perto a escala revista por Blair & McPherson (1999) (tabela 2.4), sendo testada uma abordagem mais simples e expedita que inclui uma análise à geomorfologia costeira, destacando o tamanho dos blocos rochosos, a sua disposição e a caracterização da praia rochosa, a saber:

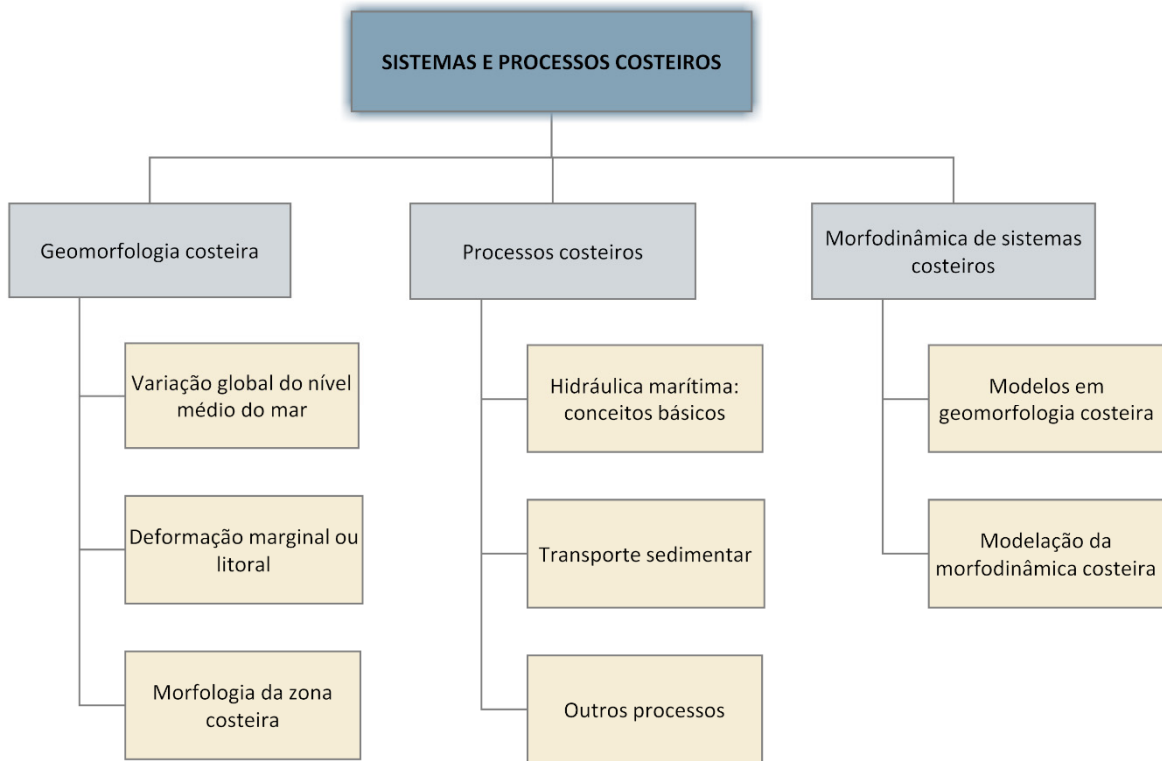
- B – Boulders [rocha];
- BF – Boulders rock pathway [corredor de blocos rochosos];
- CB – Coarse boulders [rocha grosseira]: assumindo que as dimensões apresentam aproximadamente entre 1 e 2 metros;
- VCB – Very coarse boulders [rocha muito grosseira]: assumindo que as dimensões apresentam aproximadamente entre 2 e 4 metros;
- FB – Fine blocks [blocos finos]: assumindo que as dimensões apresentam aproximadamente entre 4 e 8 metros;
- P – Platform [plataforma].

Tabela 2.4 – Sistema de classificação das partículas (adaptado de Blair & McPherson, 1999).

COMPRIMENTO DA PARTÍCULA				GRAU	CLASSE	FRAÇÃO	
km	m	mm	ϕ			Desagregado	Consolidado
1075			-30	muito grosseiro	Megalito	Mega-cascalho	Mega-conglomerado
538			-29	grosseiro			
269			-28	médio			
134			-27	fino			
67,2			-26	muito fino			
33,6			-25	muito grosseiro	Monólito		
16,8			-24	grosseiro			
8,4			-23	médio			
4,2			-22	fino			
2,1			-21	muito fino			
1,0	1048,6		-20	muito grosseiro	Megabloco (megaclastos)		
0,5	524,3		-19	grosseiro			
0,26	262,1		-18	médio			
	131,1		-17	fino			
	65,5		-16	muito grosseiro		Bloco	
	32,8		-15	grosseiro			
	16,4		-14	médio			
	8,2		-13	fino			
	4,1	4096	-12	muito grosseiro	Pedregulho (boulder [IN]; coido [ES])		
	2,0	2048	-11	grosseiro			
	1,0	1024	-10	médio			
	0,5	512	-9	fino			
	0,25	256	-8	grosseiro		Seixo	
		128	-7	fino			
		64	-6	muito grosseiro	Cascalho		
		32	-5	grosseiro			
		16	-4	médio			
		8	-3	fino			
		4	-2	muito fino			
		2	-1	muito grosseiro	Areia	Areia	Arenito
		1	0	grosseiro			
		0,5	1	médio			
		0,25	2	fino			
		0,125	3	muito fino			
		0,063	4	grosseiro	Silte	Lodo	Argilito
		0,031	5	médio			
		0,015	6	fino			
		0,008	7	muito fino			
		0,004	8				
		0,002	9				
		0,001	10				
		0,0005	11				
		0,0002	12				
		0,0001	13				
				Argila ↓ ?			

CAPÍTULO 3

SISTEMAS E PROCESSOS COSTEIROS



Organização do capítulo 3

3. SISTEMAS E PROCESSOS COSTEIROS

3.1. Geomorfologia costeira

Neste subcapítulo são descritos alguns aspetos de grande relevância para evolução da geomorfologia costeira, tais como a variação global do nível médio do mar (NMM) e, ainda, o conceito de deformação marginal ou litoral. São apresentados os principais tipos de morfologias litorais, dando principal ênfase aos visíveis nas costas rochosas.

3.1.1. Variação global do nível médio do mar

O nível do mar é um importante conceito a ter em conta na evolução geomorfológica dos continentes. Este conceito associado a processos de erosão costeira e/ou acreção de sedimentos nos litorais, estabelece uma relação direta entre os avanços e recuos da linha de costa (Dias et al., 1994; Taveira-Pinto, 2003; Araújo, 2004; Veloso-Gomes et al., 2008).

A variação do nível médio do mar (NMM) consiste na média dos valores do nível do mar registados durante um determinado período. Através da análise dos registos maregráficos em várias regiões do globo é possível estimar a atual elevação do NMM, situando-se esta entre 1mm/ano e 3mm/ano (Dias et al., 1988).

Na comunidade científica e opinião pública tem-se verificado algum alarmismo no que diz respeito às projeções da subida do nível do mar, existindo unanimidade relativamente ao aumento significativo das taxas de elevação do NMM nas próximas décadas (e.g., Revelle, 1983; Hoffman et al., 1983; Dias et al., 1997). De um modo geral o resultado é o aumento da erosão nos litorais do globo (Taborda & Dias, 1988; Bird, 1997; Fookes et al., 2007).

Este acontecimento tem enorme impacto económico e social nas populações, principalmente as localizadas em zonas ribeirinhas, sendo suscetível a ocorrência de inundações, destruição de obras de proteção, aumento de intrusões salinas em estuários, intrusão da água do mar em aquíferos costeiros, entre outros eventos (e.g., Perdigão, 1931; Carneiro et al., 2003).

De uma forma geral os processos que influenciam as variações do nível do mar são: (i) modificações derivadas da dinâmica tectónica global; (ii) variações da configuração do geóide (eustasia geoidal); (iii) variações dinâmicas (aspetos meteorológicos, oceanográficos, hidrológicos); e (iv) variações no volume da água dos oceanos (Tessler, 2005).

Também será importante referir que existe um complexo número de impactes na zona costeira, com destaque para as obras de engenharia (obras marítimas) que por sua vez assumem um peso

determinante relativamente aos problemas de erosão com diferentes causas, colocando em risco a estabilidade da geomorfologia costeira e, conseqüentemente, a estabilidade das várias comunidades litorais existentes (Ribeiro, 2010). A figura 3.1 sintetiza e esquematiza os diversos fatores e processos que têm influência na dinâmica costeira incluindo os impactos das intervenções antrópicas, revelando as ações, retroações e interações entre cada elemento.

A evolução do litoral é condicionada por diferentes fatores, dos quais se destacam: (i) efeito das glaciações do Quaternário nas variações do nível do mar, denominado glacioeustatismo, assim como resultantes do glacioeustatismo atual; (ii) efeito da deformação marginal ou litoral dos continentes; e (iii) efeito da dinâmica e transporte de sedimentos. As regressões e transgressões marinhas refletem, assim, a soma destes efeitos (Soares de Carvalho, 1985; Araújo, 2004).

O estudo da paleogeografia, tendo em consideração as principais glaciações ocorrentes ao longo da história da terra, é de grande importância na compreensão da evolução do litoral (Auboin et al., 1978). O período Neogénico (ca. 23-1.7 Milhões de anos) caracteriza-se por uma tendência geral para um arrefecimento progressivo, que se acentua durante o período Quaternário. Este período, por sua vez, refletiu importantes variações no nível do mar, devido a glaciações e períodos interglaciares. É de referir, ainda, a descida do nível do mar entre 120 a 140m relativamente ao atual nível, resultado da retenção de gelo no interior dos continentes (Araújo, 2004). Analisando a figura 3.2 verifica-se uma importante modificação da linha de costa, sendo de salientar um recuo de linha de costa de 30-40 km ao largo do Porto (NW Portugal) (Dias et al., 1997).

Analisando a taxa de variação do nível do mar em mm/ano (figura 3.3), verifica-se a predominância de cores quentes, o que reflete a subida do nível do mar. De acordo com Soares de Carvalho (1982) o recuo dos glaciares a nível mundial nos anos de 1870-1890 e de 1940-1950 tem como resultado a subida do nível do mar com valores na ordem de uma dezena de centímetros, sendo estes considerados períodos de aquecimento.

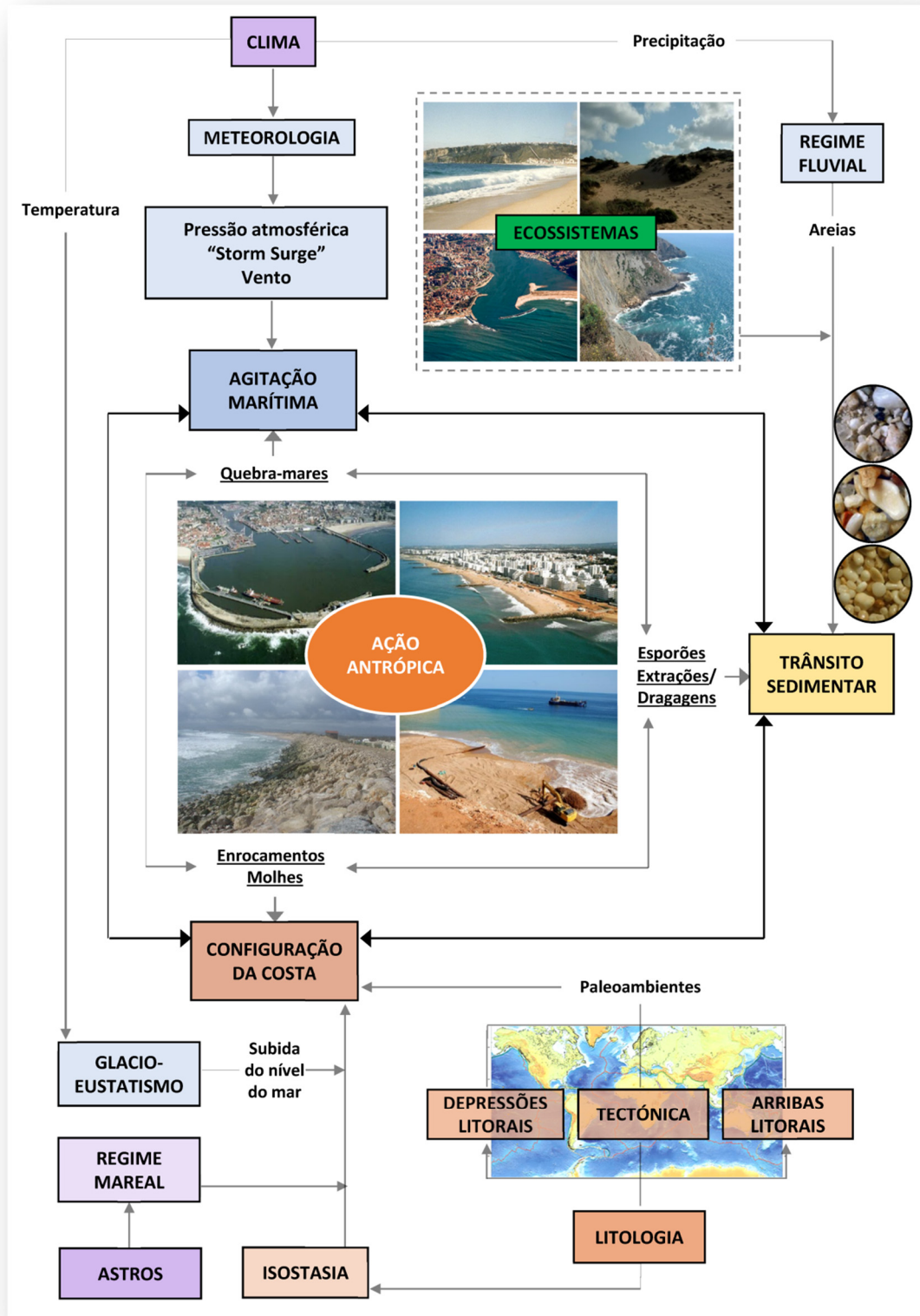


Figura 3.1 – Esquema com as relações entre os diferentes elementos com impacto na dinâmica costeira e o próprio impacto das intervenções antrópicas (adaptado de Ribeiro, 2010).

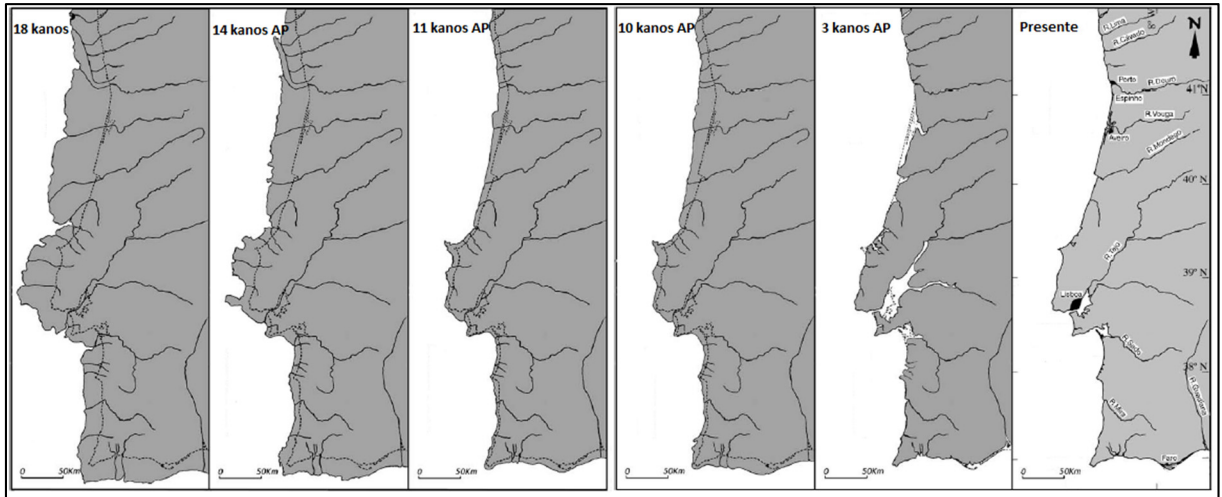


Figura 3.2 – Presumível linha de costa na plataforma continental portuguesa desde o último Máximo Glaciário (18 ka) até à atualidade (adaptado de Dias, 1987; Rodrigues et al., 1991; Dias et al., 1997, 2001).

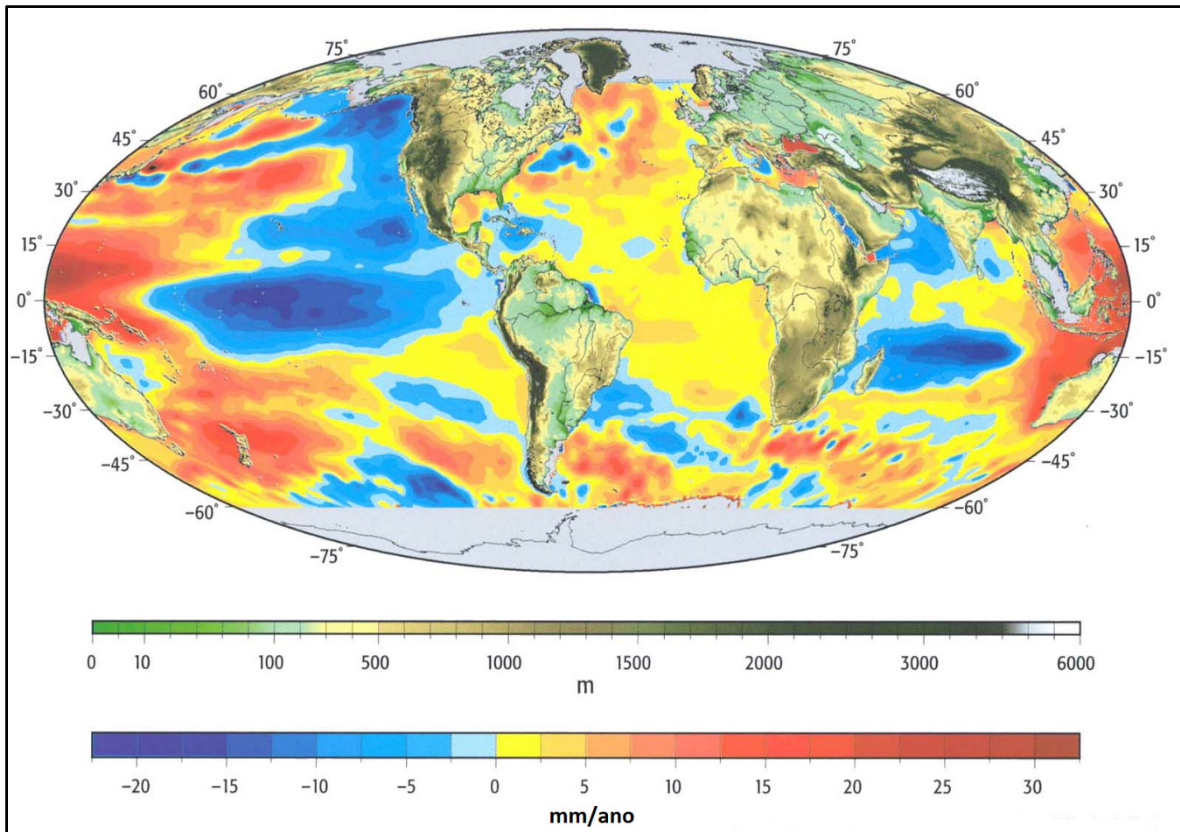


Figura 3.3 – Taxa de variação do nível do mar segundo Topex-Poseidon no período de Janeiro de 1993 a Dezembro de 2000, LEGOS-GRGS/CNES, Abril 2001 (Paskoff, 2001).

3.1.2. Deformação marginal ou litoral

Bourcart (1938) formulou a teoria da “flexura litoral”, tendo por base trabalhos realizados em Marrocos e Portugal. Por sua vez, Zbyszewski (1945) propõe a substituição do termo utilizado por Bourcart e denomina a teoria de “deformação marginal ou litoral”.

De acordo com a teoria de Bourcart, os movimentos de migração do eixo de flexura consistem na causa de regressões e transgressões marinhas, admitindo um ponto de inflexão pelo qual o eixo da flexura passa (ver figura 3.4).

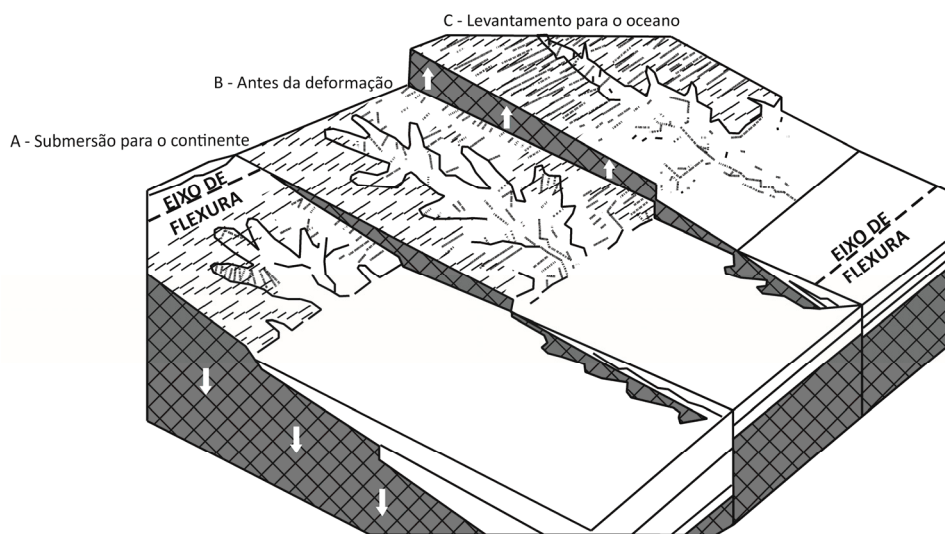


Figura 3.4 – Resultado da migração do eixo de flexura (Cotton, 1955).

3.1.3. Morfologia da zona costeira

O aparecimento de diferentes formas litorais ao longo das zonas costeiras está estritamente relacionado com diversos fatores, nomeadamente: (i) condições de agitação; (ii) marés; (iii) correntes; (iv) transporte sedimentar; e (v) tamanho dos sedimentos. Com o intuito de compreender melhor a formação e evolução da zona costeira, foram propostas várias classificações, sendo divididas com base em semelhanças geológicas e ambientais (Finkl, 2004; Pais-Barbosa, 2007). É de salientar que Morang et al. (2002) refere a classificação de Shepard (1937) como uma das mais amplamente utilizadas para as zonas costeiras, permitindo que quase todos os litorais do globo sejam nesta incorporados (ver classificações costeiras – capítulo 1).

Nas zonas costeiras é facilmente detetada a coexistência de diversas formas fisiográficas (e.g. elementos rochosos, praias, zonas húmidas, estuários, entre outras). Cada uma destas formas litorais sofre alterações pela ação de diferentes fatores, já referidos anteriormente, provocando muitas vezes a erosão e deposição simultânea ou sequencialmente num determinado segmento (Silvestre & Hsu, 1997).

Este subcapítulo irá incidir na descrição de costas rochosas, sendo apresentados alguns aspetos morfológicos relevantes. Convém salientar que as costas rochosas envolvem uma evolução lenta em termos de processos, contrariamente à evolução dos litorais arenosos (Araújo, 2004). Sunamura (1992) define a costa rochosa como uma costa em arriba, tendo como composição material consolidado, independentemente da sua resistência, propondo inclusive o estudo de costas compostas por materiais desde granitos ou basaltos até materiais pouco coerentes (depósitos glaciares). No estudo da evolução das costas rochosas a energia das ondas e o tipo de rocha são fatores importantes a ter em consideração (Griggs & Trenhaile, 1994; Bird, 2008; Naylor et al., 2010). A energia de ondulação está dependente da quantidade de sedimentos que se sobrepõem no substrato rochoso, sendo que estes, por um lado, contribuem para o seu desgaste e, por outro, protegem o substrato da ação das ondas. As rochas batidas pelas ondas estão sujeitas a pressões mecânicas e a capacidade que uma determinada rocha tem de resistir a essas pressões é influenciada pela existência de fraturas e descontinuidades de diferentes tipos, para além da resistência mecânica dos minerais componentes e sua suscetibilidade à alteração química. Outro fator influente é a denominada tensão (“stress”) que induz microfraturação e diminui a resistência da rocha, podendo alargar as reentrâncias e, posteriormente, por ação das ondas, facultar o arranque de pedaços de rocha. (Trenhaile, 2002; Trenhaile 2011a, b).

No que diz respeito às plataformas de erosão marinha, é possível diferenciar três tipos fundamentais: plataforma descendo para o mar (figura 3.5a), plataforma horizontal (figura 3.5b) e arriba mergulhante (figura 3.5c). Dentro de cada um destes tipos fundamentais, pode existir grande variedade, dependendo de fatores como: tipo de rocha e respetiva estrutura; marés e exposição à ondulação; condições de meteorização e clima; herança de pequenas variações do nível do mar (Sunamura, 1992; Trenhaile, 1987, 1997; Bird, 2008).

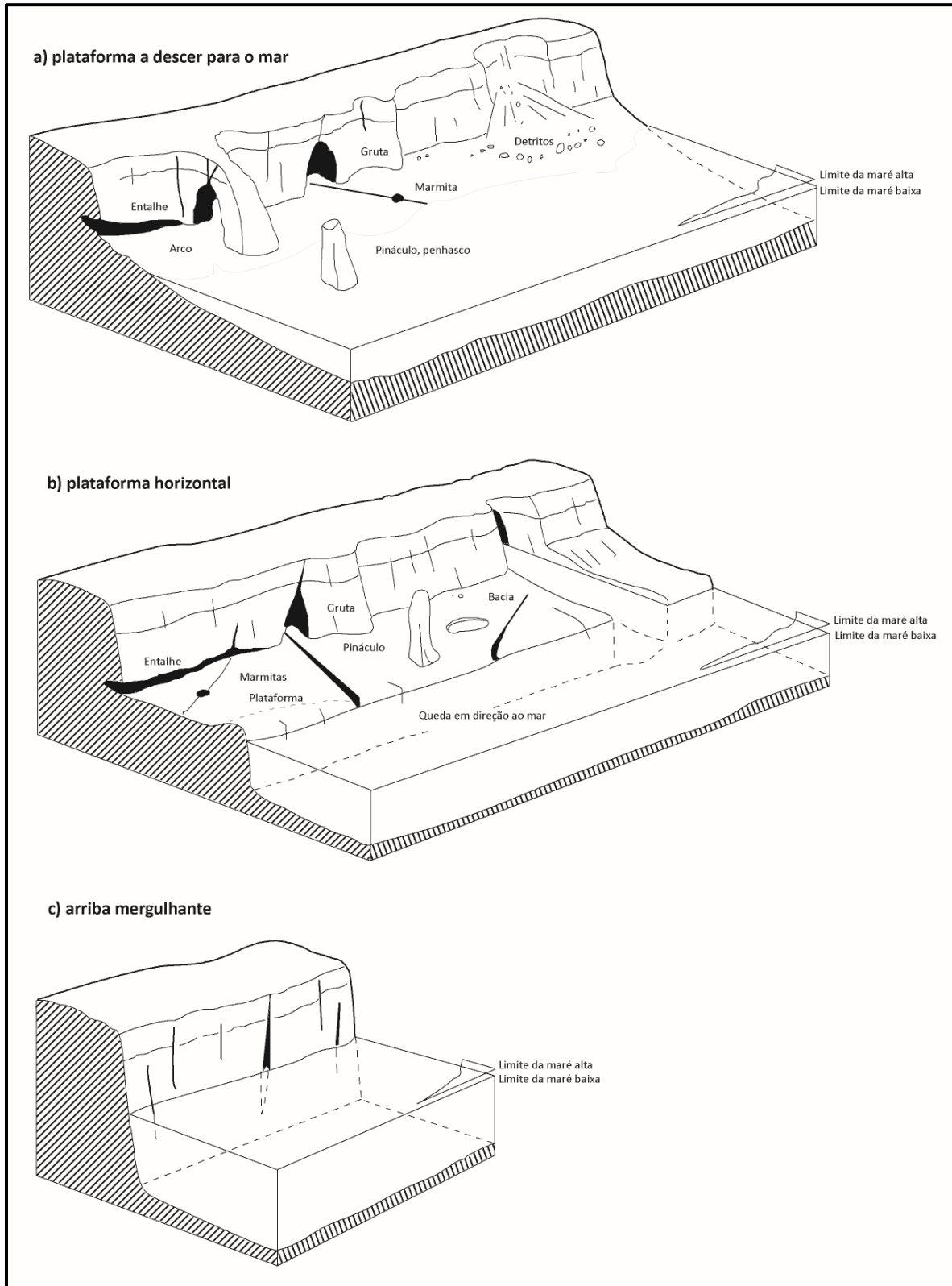


Figura 3.5 – Tipos fundamentais de morfologia nas costas rochosas (adaptado de Sunamura, 1992).

Numa costa rochosa poder-se-á identificar diferentes geoformas, e verifica-se a existência de uma grande variedade de formas de erosão, como, por exemplo, entalhes, grutas, arcos, marmitas, entre outras (Araújo, 2004; Pavlopoulos et al., 2009). Na tabela 3.1 descrevem-se resumidamente algumas destas formas de erosão.

Tabela 3.1 – Resumo das formas de erosão marinha (adaptado de Araújo, 2004, Pavlopoulos et al., 2009).

Entalhes	Ocorrem normalmente associados à existência de fraturas aproveitadas pela erosão marinha. Frequentemente obliquas em relação à linha de costa, formando uma espécie de corredor de erosão. No caso de a rocha ser passível de dissolução, o desenvolvimento dos entalhes é mais evidente, podendo haver formação de diferentes formas de pormenor como Vasques, tafoni.
Grutas	Surgem em rochas relativamente resistentes, explorando as descontinuidades. Correspondem a aberturas nas arribas nas quais a profundidade é superior à abertura.
Arcos	Os arcos formam-se quando as ondas são capazes de perfurar um promontório, atacando-o de ambos os lados. São considerados formas relativamente transitórias, sendo que quando a parte superior do arco colapsa passamos ao domínio dos pináculos, penhascos.
Marmitas	As marmitas apresentam forma cilíndrica e correspondem a secções usualmente mais largas do que fundas. A acumulação de materiais em depressões desenvolve o efeito abrasivo típico deste tipo de forma.
Bacias de dissolução	Típicas de rochas calcárias. O seu desenvolvimento é a partir de pequenas depressões, através da dissolução da calcite, aquando a diminuição do PH derivada da respiração de seres vivos nessas depressões. As depressões alargam-se lateralmente, mantendo as paredes verticais e podendo dar origem a depressões mais amplas e com contorno irregular.
Tafoni e alvéolos	Ocorrem essencialmente devido a fenómenos de desagregação mecânica. Caracterizam-se pela origem de depressões na superfície das rochas. Podem aparecer em rochas ígneas mas também em vários tipos de grés. Encontram-se em ambientes litorais e também em áreas com uma certa secura.

3.2. Processos costeiros

São descritos neste subcapítulo alguns processos que ocorrem a nível litoral, tais como os referentes aos conceitos básicos de hidráulica marítima (e.g. ondas, marés, correntes), ao transporte sedimentar, à ação do vento e aos processos de alteração, entre outros.

3.2.1. Hidráulica marítima: conceitos básicos

A hidráulica marítima entende-se como o estudo de processos (naturais, antropogénicos, e da dinâmica de fluidos) ocorrentes na zona costeira e da interação destes com outras disciplinas,

nomeadamente a geologia, a sedimentologia, a geomorfologia, a morfodinâmica, entre outras (Pires, 2007).




De seguida descrevem-se uma série de parâmetros e processos relacionados com a hidrodinâmica e algumas definições importantes.

Ondas

A descrição do tipo de comportamento das ondas, assim como a definição dos tipos de onda é de grande importância, tendo em consideração que os fenómenos ocorrentes (interação de fronteiras sólidas e agitação marítima) consistem nos principais agentes da evolução da morfologia e morfodinâmica da zona costeira (Dietrich et al., 1980; Kamphuis, 2000; Stewart, 2008).

“O movimento mais evidente da superfície do Oceano é o das ondas” (Araújo, 2004). Podem definir-se três principais tipos de movimentos ondulatórios, como indicado na tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Movimentos ondulatórios (adaptado de Thurman, 1997).

<p>Ondas longitudinais</p> 	<p>As partículas efetuam um movimento para a frente e para trás, seguindo a mesma direção da propagação da energia, assemelhando-se ao movimento de uma mola. A energia pode transmitir-se aos estados sólido, líquido e gasoso.</p>
<p>Ondas transversais</p> 	<p>A direção de vibração das partículas é perpendicular à energia e consiste num tipo de movimento transmitido apenas em sólidos.</p>
<p>Ondas orbitais</p> 	<p>Quando as ondas transmitem energia ao longo de dois fluidos de diferentes densidades, estamos perante a combinação do movimento longitudinal e transversal. As partículas adquirem uma trajetória circular, sendo as ondas denominadas orbitais.</p>

No que diz respeito a características das ondas, uma onda ideal é representada por partes altas (cristas) e partes baixas (cavas). A diferença de altitude entre ambas denomina-se altura da onda (H). O comprimento de onda (L) consiste na distância horizontal entre dois pontos consecutivos. O declive de onda, por sua vez, é a relação entre (H/L). Ao tempo que uma onda completa demora a passar dá-se o nome de período (T) (Capitão, 2003; Araújo, 2004). Na figura 3.6 representam-se alguns parâmetros importantes para o estudo da dinâmica de zonas costeiras.

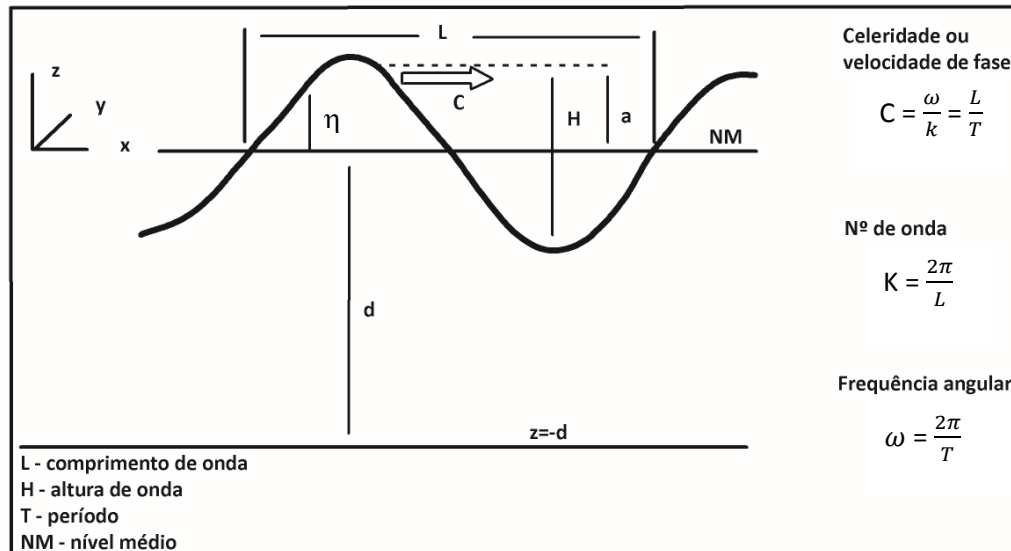


Figura 3.6 – Parâmetros para caracterização da agitação marítima (adaptado de Capitão, 2003).

Na tabela 3.3. caracterizam-se os tipos de ondas consoante a profundidade, sendo que os respetivos comportamentos variam de acordo com este parâmetro. Na tabela 3.4 e 3.5 encontram-se sintetizados alguns processos relativos à interação da agitação com fronteiras sólidas.

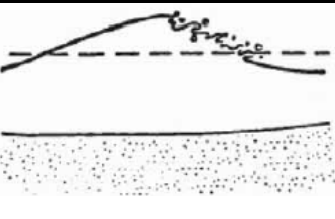
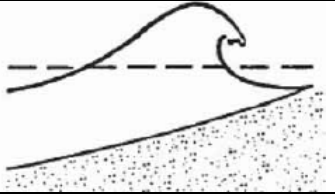
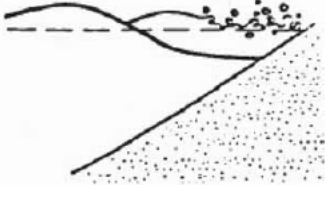
Tabela 3.3 – Tipos de ondas de acordo com a profundidade (adaptado de Araújo, 2004).

Tipos de ondas	Caracterização
Ondas de águas profundas	Ocorrem quando a profundidade é > do que ½ de (L). Não são afetadas pelos fundos oceânicos.
Ondas de águas baixas	A profundidade é < do que 1/20 de (L). Inclui-se na categoria: ondas geradas pelo vento quando existe aproximação à linha de costa, tsunamis e ondas de maré resultantes da atração do Sol e da Lua. A velocidade destas ondas aumenta com a profundidade.
Ondas de transição	Ocorrem quando: ½ de (L) > profundidade > 1/20 (L)

Tabela 3.4 – Interação com fronteiras sólidas (sintetizado a partir de Pais-Barbosa, 2007).

Processos	Descrição resumida
Reflexão	Quando as ondas esbarram contra a linha de costa, nem toda a energia é consumida, sendo possível a reflexão de volta para o oceano quando perante uma fronteira sólida. O ângulo de reflexão das ondas nas barreiras deverá ser igual ao ângulo de incidência. No caso de ondas perpendiculares à fronteira, a reflexão origina ondas estacionárias.
Refração	A refração consiste na reorientação da direção de propagação da crista da onda em relação ao ângulo da orientação dos fundos oceânicos ou à existência de correntes (Carter, 1995). A deslocação em águas de maior profundidade implica maior celeridade.
Difração	Fenómeno de transferência lateral de energia quando a crista da onda é interrompida por um obstáculo, havendo difusão perpendicular à direção dominante da propagação da onda.
Empolamento	Ocorra quando existe propagação da agitação para zonas de pequenas profundidades de água. A velocidade e (L) decrescem nas zonas de pequena profundidade e aumenta (H), sendo (T) constante.
Rebentação	Fenómeno que origina turbulência, emulsão de ar e dissipação de energia. Existem três tipos de rebentação: progressiva, mergulhante e de fundo (tabela 3.6).

Tabela 3.5 – Tipos de rebentação (sintetizado a partir de Pais-Barbosa, 2007).

Tipos	Características	Figura
Progressiva	Ocorre em fundos quase horizontais, sendo caracterizada pelo aparecimento de uma emulsão de água e ar, espuma, na zona frontal da crista, sendo a configuração desta praticamente simétrica. A dissipação de energia ocorre por turbulência, de maneira contínua e num percurso relativamente extenso.	
Mergulhante	Ocorre com acentuada deformação da crista da onda após a verticalidade da zona frontal da crista. Os fenómenos de turbulência são muito intensos, sendo a dissipação da maior parte da energia imediatamente após a queda da crista para a frente.	
De fundo	Ocorre em taludes com grande inclinação e a dissipação de energia dá-se por espraiamento sobre o talude, com menor emulsão de ar.	

Marés

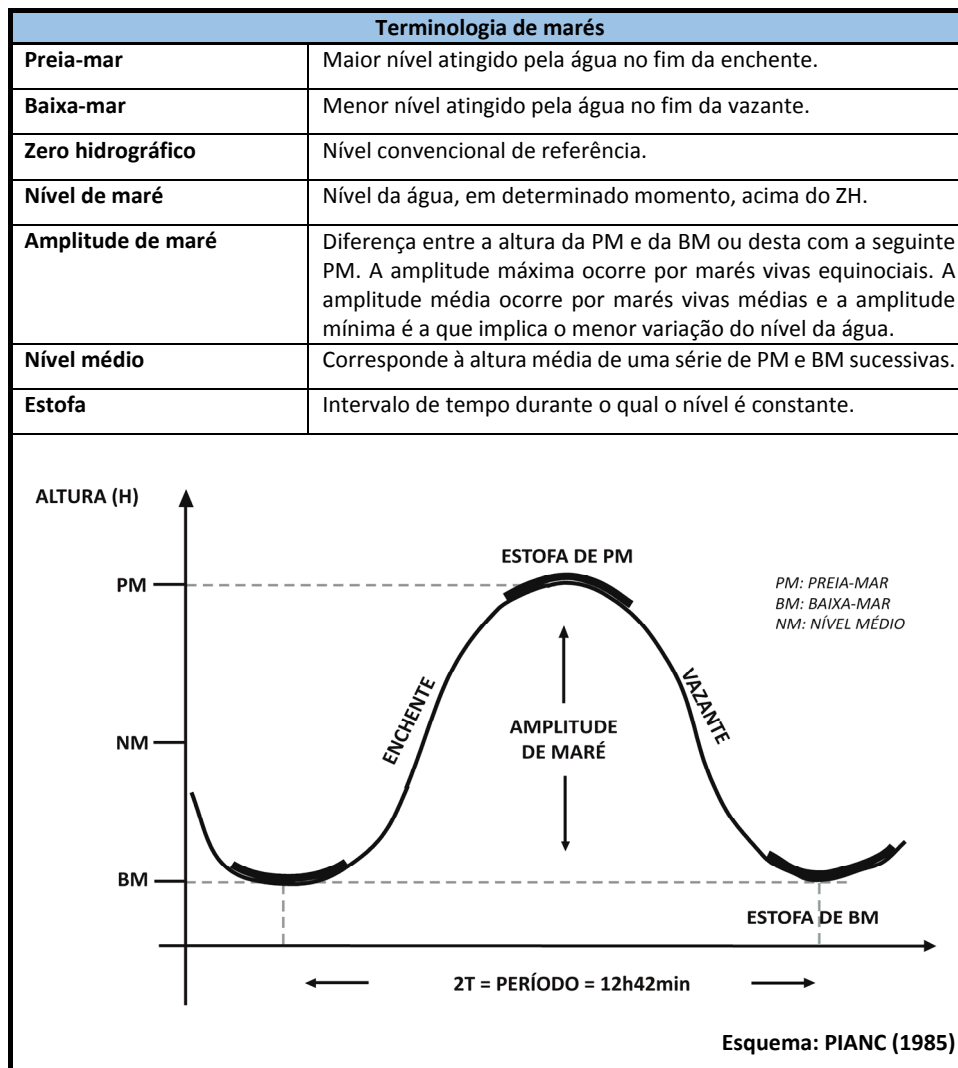
A ação das forças gravíticas da Lua e do Sol sobre a hidrosfera da Terra provocam o fenómeno das marés. São de esperar dois ciclos de marés diários, pois a Terra roda em torno do seu eixo por um período de 24 horas. As marés podem ser classificadas em: (i) diurnas; (ii) semidiurnas; e (iii) mistas. Nas marés diurnas ocorre um único ciclo de maré diário, enquanto nas semidiurnas ocorrem dois (USACE, 1995, 2003). Nas marés mistas existem características de ambos os tipos anteriores descritos. De acordo com a amplitude de maré, as zonas costeiras podem classificar-se segundo três categorias distintas (sintetizado de Haslett, 2001 e de Ribeiro, 2001), a saber:

- Regime micromareal (ou “microtidal”), com amplitude de maré inferior a 2 metros, ocorre em costas abertas onde a onda mareal é predominantemente refletida, ou em mares interiores (Mediterrâneo, Mar Negro, Mar Báltico) com baixa energia mareal;
- Regime mesomareal (ou “mesotidal”), com amplitude de maré de 2 a 4 metros segundo Davies (1964). Alguns autores consideram que este tipo de regime apresenta uma amplitude de maré entre 2 a 6 metros (e.g. Briggs et al., 1997), mas a maior parte dos autores considera a amplitude adoptada pela definição de Davies (e.g. Pethick, 1984; Carter, 1995; Viles & Spencer, 1995). Este tipo de categoria é registada em ambientes intermédios (como é o caso da costa continental Portuguesa);
- Regime macromareal (ou “macrotidal”), com amplitude de maré superior a 4 metros de acordo com Davies (1964) e muitos outros autores, mas assumida como maior que 6 metros

por Briggs et al. (1997). Neste tipo de regime a onda mareal começa a ser dissipada, atravessando largos bancos continentais ou quando está confinada em estuários e golfos. Alguns exemplos desta categoria incluem a maior parte dos mares do noroeste da Europa (e.g. Mar Céltico que inclui o Estuário do rio Severn, Mar do Norte, Canal da Mancha e o Golfo da Biscaia).

A tabela 3.6 apresenta uma esquematização da terminologia sobre marés e a sua definição geral, (PIANC, 1985; Pais-Barbosa, 2007).

Tabela 3.6 – Resumo da terminologia sobre marés (adaptado de Pais-Barbosa, 2007).



Correntes litorais

As correntes litorais consistem em movimentos de água paralelos e/ou perpendiculares à linha de costa. Os mecanismos que estão na sua origem são diversos, podendo ser originados pela agitação, pelas marés, e pela ação do vento. Os movimentos de água que são paralelos e que correspondem

a movimentos lineares bem delineados junto à zona de rebentação correspondem a correntes longitudinais (figura 3.7) e podem ser gerados por diversos mecanismos (ação do vento, níveis de água diferenciais devido à variação da altura de onda, difração da agitação, entre outros). A sua compreensão implica o conhecimento da relação entre agitação, transporte sedimentar e processo evolutivo da linha de costa (Carter, 1995). Um outro padrão distinto de corrente consiste no movimento segundo uma corrente circulatória (figura 3.7), alternadamente para dentro e para fora da zona de rebentação, denominado corrente de retorno (Pais-Barbosa, 2007).

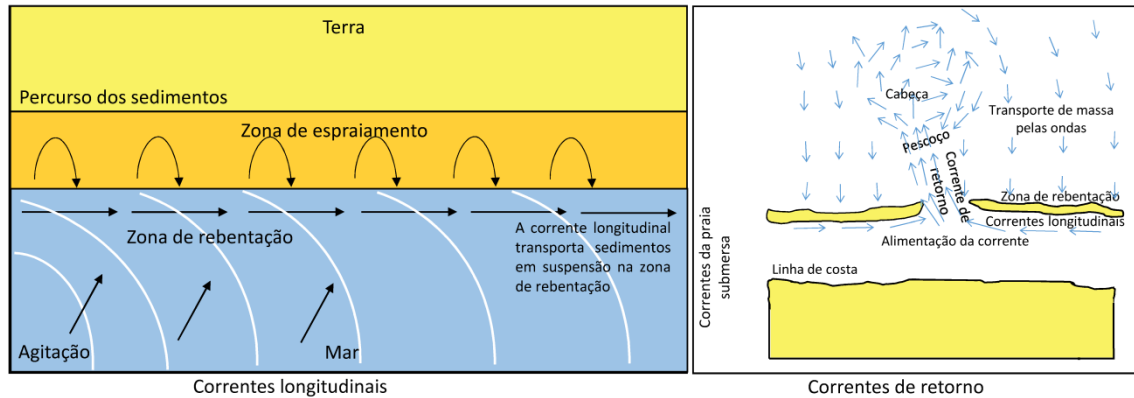


Figura 3.7 - Correntes originadas pela agitação (Pais-Barbosa, 2007).

Os movimentos das marés associados a diferentes características topográficas podem originar, por sua vez, três tipos de correntes: rotativas; retilíneas ou reversivas; e hidráulicas. Estas correntes, de caráter periódico, variam de local para local, dependendo das características das marés, profundidade de água e configuração da costa (Pais-Barbosa, 2007).

As correntes geradas pela ação do vento na superfície da água são resultado da força de atrito ocorrente na interface entre água e ar. Se a área onde o vento atuar for extensa e o tempo de ação longo, como o caso dos ventos Alísios (resultantes do deslocamento de massas de ar frio de zonas de alta pressão – Trópicos – para zonas de baixa pressão – Equador), a corrente que resulta deste processo consiste numa importante componente de circulação oceânica (Wiegel, 1964). Quando existe este tipo de mecanismo a atuar sobre a superfície da água, ocorre a formação das correntes mas também existe arrastamento de água, originando também ondas (figura 3.8).

De acordo com Pais-Barbosa (2007) a “corrente de Portugal” é responsável pelo movimento dos sedimentos para as praias da costa ocidental do país. Esta corrente, originada a partir da “corrente do Golfo”, consiste numa massa de largura variável (entre 500 e 1000km), que passa ao largo da costa a uma velocidade de 10 a 25cm/s, com direção maioritariamente norte-sul e profundidades menores do que 100-200 metros (Pires, 2007).

As correntes de upwelling são, também, de grande importância. Estas consistem em correntes que afastam a água dos continentes. O fenómeno “upwelling” está relacionado com o desvio de águas superficiais para o largo, através da ação do vento aliado ao efeito de Coriolis, com substituição de águas de profundidade e mais frias. Este fenómeno ocorre em Portugal (no verão), produzindo-se uma corrente de Este para Oeste, originando a ascensão de águas frias e profundas como compensação do movimento das águas superficiais para o largo (Araújo, 2004).

O efeito de Coriolis não é mais do que o desvio de ventos e correntes para leste, provocado pelo movimento de rotação da Terra. Deste modo, no hemisfério sul os ventos nas faixas tropicais predominam no sentido Leste-Oeste, enquanto no hemisfério norte, por sua vez, a predominância é no sentido Oeste-Leste (Carter, 1995).

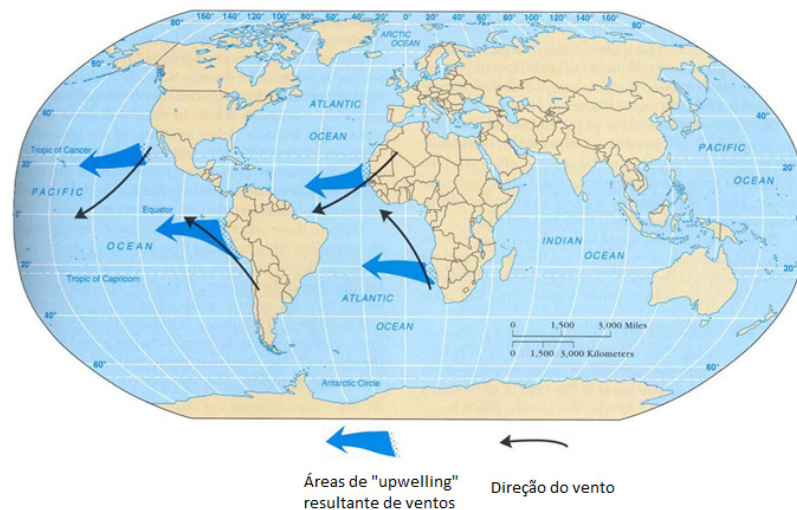


Figura 3.8 – Relação entre direção de ventos alísios e correntes upwelling (extraído de Thurman, 1997).

3.2.2. Transporte sedimentar

O transporte sedimentar tem um papel fundamental no que respeita à dinâmica litoral, bem como na própria engenharia costeira. É um fator fundamental para o dimensionamento, a construção e a viabilidade económica de portos, para as obras de defesa costeira, para o reperfilamento da praia e sua morfologia, entre outros aspetos (Soulsby, 1997; Coelho, 2005).

Os processos que estão na base do transporte dos sedimentos são processos de suspensão, transporte e deposição, os quais ocorrem em simultâneo, havendo a possibilidade de interação entre eles (Soulsby, 1997). Deste modo, ocorre o processo de transporte sedimentar, podendo este ser de três tipos (Rijn, 1989; Soulsby, 1997; Fredsøe & Deigaard, 1992; Coelho, 2005), como apresentado na tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Tipos de transporte sedimentar.

Tipos de transporte	Descrição geral
Transporte por arrastamento	É mais ou menos contínuo, sendo caracterizado principalmente pelo rolamento, pelo saltar e pelo deslizamento ao longo do fundo em resposta à fricção. No caso particular dos fundos terem inclinação, este tipo de transporte é dominante em fluxos de baixa velocidade e/ou sedimentos de dimensão considerável (Rijn, 1989; Soulsby, 1997).
Transporte por suspensão	Dá-se no caso em que o fluxo tem altas velocidades ou ondas que sejam suficientemente grandes e em que os sedimentos possuam dimensões que deixem que sejam colocados em suspensão, sendo, deste modo, transportados pela corrente/agitação.
Transporte por “lavagem”	É aquele que possibilita o transporte das partículas muitas finas que não costumam estar no fundo.

Seguidamente tem lugar a deposição dos sedimentos, ou seja, estes param de ser arrastados pelo fundo ou saem em suspensão. Descrevem-se, de seguida, dois processos distintos de transporte sedimentar: longitudinal e transversal (figuras 3.9a e 3.9b).

Processos de transporte sedimentar longitudinal

O transporte sedimentar longitudinal expressa-se normalmente pela erosão ou acreção em volta de estruturas de defesa como, por exemplo, esporões e quebra-mares.

“A incidência da agitação com um rumo oblíquo em relação à linha de costa induz a movimentação de quantidades de sedimentos variáveis na direção longitudinal (deriva litoral)” – Pais-Barbosa, 2007.

Isto acontece devido ao arrastamento pelas correntes (na zona junto à praia) e ao transporte na zona de rebentação da agitação. A ação das ondas incidentes induz o movimento da areia ao longo da praia, na mesma direção da onda.

A turbulência existente na zona de rebentação induz a suspensão dos sedimentos. Estes podem ser transportados pelas correntes longitudinais originadas também pela rebentação das ondas. Em conjunto com os sedimentos suspensos são transportados sedimentos localizados perto do fundo, sendo a sua quantificação complexa (Kamphuis, 2000).

Processos de transporte sedimentar transversal

O transporte sedimentar transversal é fundamental, visto que os perfis costeiros com erosão/acreção estão relacionados com este tipo de transporte. Determinado perfil de praia modifica-se continuamente podendo ser alterado significativamente aquando da ocorrência de uma tempestade (Pais-Barbosa, 2007).

Este tipo de transporte demonstra comportamentos-tipo, isto é, ocorre no sentido de barlar, durante a ocorrência de tempestades, e no sentido sotamar, em condições normais, pelo que o transporte nestas duas direções ocorre de forma desigual e em escalas de tempo diferentes. Posto isto, verifica-se que a capacidade de previsão destes dois tipos de transporte é substancialmente variável. O transporte sedimentar para barlar, ocorre a grande velocidade, uma vez que a altura de onda e a sua capacidade energética é grande. O transporte no sentido de sotamar tem, normalmente, lugar no Verão quando é menor a altura da onda, movendo os sedimentos ao longo da praia para sotamar, juntando-se, e aumentando a praia (Dean et al., 2002). O estudo de perfis transversais realizado para um período de tempo extenso, pode revelar importantes contributos no processo de erosão/acrecção, assim como no conhecimento evolutivo da morfologia e morfodinâmica da praia submersa.

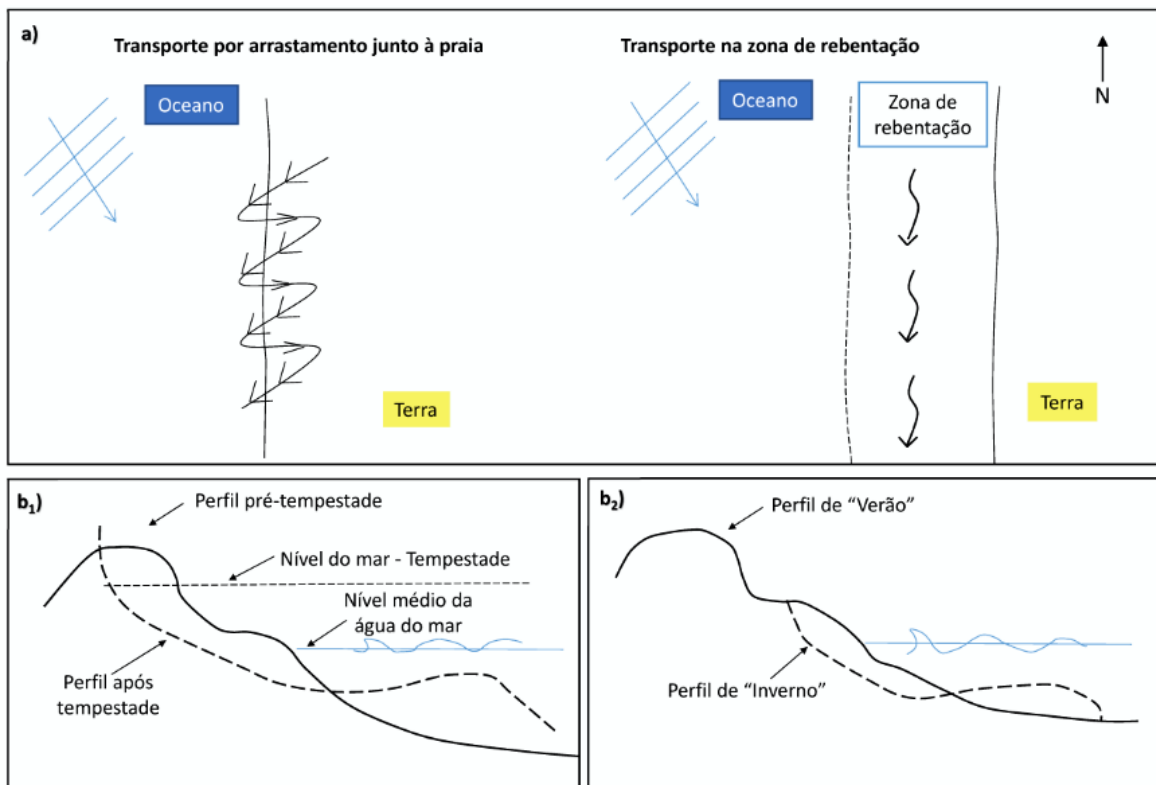


Figura 3.9 – Processos de transporte longitudinal a – Transporte por arrastamento junto à praia e na zona de rebentação; b₁ – Perfil de resposta a uma tempestade; b₂ – Mudança de perfil sazonal (adaptado de Coelho, 2005; Pais-Barbosa, 2007).

3.2.3. Outros processos

Em termos de geomorfologia costeira existe uma variedade significativa de ocorrência de processos, nomeadamente os relacionados com as condições físicas e hidráulicas. Além dos processos anteriormente descritos, outros poderão ser considerados, cuja importância não deve ser menosprezada (figura 3.10). As correntes oceânicas exercem influência não só nos regimes de

ondulação, mas também no que diz respeito à distribuição global de organismos. A ação do gelo é um fator importante em costas de alta latitude. Os padrões gerais da circulação global como é o caso da circulação de águas profundas, ou os fenómenos de El Niño e La Niña no Oceano Pacífico, resultam em variações a longo prazo nos processos geomorfológicos nas costas que são afetadas por essas mesmas variações (Woodroffe, 2002). Este autor também afirma que o papel de eventos extremos como tempestades ou tsunamis poderão também ser expressos em termos de morfologia costeira. Alguns destes processos são sumariamente descritos nesta secção.



Figura 3.10 – Processos de influência na geomorfologia costeira.

Ocorrência de tempestades

Woodroffe (2002) referiu que a importância geomorfológica de um determinado evento é regida pela quantidade de energia gasta na topografia em relação à resistência da própria topografia em sofrer modificações.

É possível determinar, em termos probabilísticos, os intervalos de ocorrência de determinado evento. Esta determinação indica, assim, a probabilidade associada a um evento de determinada dimensão, assumindo que o clima é constante. Assim, se ocorrerem mudanças climáticas, também a frequência expectável destes acontecimentos se modificará (Woodroffe, 2002).

Relativamente às tempestades, a sua designação associa-se não só a eventos com elevada libertação de energia, mas também àqueles onde a velocidade do vento atinge velocidades elevadas (nomeadamente velocidades acima de 8 na escala de Beaufort [Huler, 2004; Stewart, 2008; Met Office, 2010]). A tempestade ocorre em locais em que a pressão atmosférica é particularmente baixa e a superfície do mar eleva-se como resposta a esta baixa pressão (Flather, 2001). Os ciclones, por exemplo, podem exercer influência sob a costa durante vários dias, aumentando o nível da água. No caso dos tsunamis, as modificações causadas, relativamente à geomorfologia, são consideráveis. Estes provocam ondas de longo período, nas quais o pico de velocidade se pode manter durante vários minutos (Bryant, 2001). Associado a este evento pode estar o transporte de grandes sedimentos para a costa, sendo devastador o efeito das ondas provocadas.

Ação do vento

O vento representa um outro fator importante na criação de ondas, assim como na origem de formações tais como as dunas. As características típicas de uma onda, totalmente levantada sob condições de vento específicas, são também definidas e classificadas segundo a escala de Beaufort (Huler, 2004; Stewart, 2008; Met Office, 2010).

Apesar de muitas costas serem afetadas pelo fenómeno de “swell” (quando as ondas se aproximam das margens oceânicas, onde a velocidade do vento diminui, elas podem viajar mais depressa que o vento; nessa altura o declive da onda diminui e elas transformam-se em ondas com longas cristas designadas como “swell”; o swell pode deslocar-se ao longo de grandes distâncias sem perda significativa de energia [Araújo, 2004]), que é gerado por ondas associadas a tempestades que estão para além da influência imediata da costa, também ocorrerem as ondas de vento que são significativas e geradas localmente e que podem provocar efeitos importantes na costa (Woodroffe, 2002). Existem determinados ventos, particularmente associados a algumas zonas costeiras como a brisa marinha, que ocorrem devido às diferentes condutividades térmicas da terra e do mar. O transporte de sedimentos está, também, associado à direção dos ventos.

Ação do gelo

Em primeiro lugar, a ação do gelo pode ser maioritariamente observada em costas de elevada latitude como, por exemplo, as áreas adjacentes ao Oceano Ártico. Este fator influente, associado principalmente ao seu derretimento, tem impacto direto nas marés e tempestades. A existência ou a não existência de um manto de gelo nas regiões referidas, a qual depende da estação do ano, pode atenuar ou acentuar os fenómenos associados, respetivamente. É após o pico do Inverno que o manto começa a fendilhar e posteriormente a derreter (Woodroffe, 2002).

Processos fluviais

Os rios representam um papel importante na formação dos estuários e deltas. Estes transportam sedimentos e água fresca para as zonas costeiras (Woodroffe, 2002). No caso dos deltas, os sedimentos são suscetíveis de se acumularem na foz do rio, a menos que os processos costeiros sejam suficientes para redistribuí-los. Os estuários também podem, frequentemente, acumular sedimentos fluviais e costeiros.

Fatores climáticos

Os fatores climáticos exercem influência no grau de alteração dos materiais o que, por sua vez, determina a resistência da rocha ou sedimento (Ollier, 1984). A alteração das rochas pode ocorrer em costas que estão sob a influência de pulverizações de sal, sendo que o sal influencia o colapso da rocha, corroendo a sua superfície. Existem outros tipos de influência em termos físico-químicos, nomeadamente a formação de lagoas de água do mar sob as superfícies rochosas.

Estas modificações físico-químicas provocam défices no desempenho da rocha, principalmente a nível geomecânico. No caso das costas rochosas também são importantes os processos de vertente, estabilidade da costa, deslizamento, queda de blocos ou de movimento de massa (Woodroffe, 2002; Trenhaile, 2011a, b).

Processos biológicos

As plantas e animais poderão também exercer influência na geomorfologia costeira. Um dos exemplos mais significativos são os de recifes de corais, onde a totalidade dos relevos resultam das atividades estruturais dos organismos. No geral, os ecossistemas apresentam um papel biomecânico e bioquímico. Existem diversos organismos que produzem sedimentos calcários, que poderão, por vezes, funcionar como uma camada protetora. Os processos de bioerosão também são representativos (Spencer, 1988). No caso das dunas, a vegetação desempenha um papel importante, funcionando como uma fronteira e como barreira. Mas, segundo Woodroffe (2002), um dos mais importantes fatores é o impacto humano. A humanidade tem modificado drasticamente muitas costas e exerce influência, porém subtil, em quase todas as costas.

3.3. Morfodinâmica de sistemas costeiros

A evolução morfológica das zonas costeiras, sistemas dinâmicos de elevada complexidade, é o resultado da combinação de vários agentes naturais (ondas, correntes, variações no NMM, etc.), e de impactos provocados pelas atividades humanas, como é exemplo a alteração da fisiografia litoral. A compreensão da morfodinâmica de sistemas costeiros permanece, ainda, um desafio, essencialmente devido à complexidade de processos e às diferentes escalas (espaciais e temporais) de resposta envolvidas (Dias et al., 2011).

3.3.1. Modelos em geomorfologia costeira

A base para a fundamentação de teorias que permitam explicar como se modificam as zonas costeiras é obtida através da descrição das morfologias litorais e inter – relação entre formas e

processos. A teoria, por sua vez, é normalmente expressa pela forma em que se comporta o sistema costeiro, sob determinadas condições controladas (Woodroffe, 2002).

3.3.2. Tipos de modelos

Um modelo é uma estrutura ou uma arquitetura, onde as relações entre as diferentes variáveis podem ser representadas. Estes podem variar desde diferentes e básicas conceções a complexas formulações matemáticas. Quando se aborda a questão da modelação na engenharia e segundo Barbour & Krahn (2004), poder-se-á assumir que a sua aplicação poderá passar por 3 categorias genéricas: (i) interpretação; (ii) dimensionamento e análise; e (iii) previsão. Na figura 3.11 encontram-se esquematizados os tipos de modelação dos sistemas, desde a modelação conceptual do terreno (modelos geológicos e/ou geomorfológicos com parâmetros de engenharia), modelação numérica (com base em modelos matemáticos, ou seja, probabilísticos, abordagens determinísticas ou estocásticas), até chegar à própria modelação experimental, poderão ser as possíveis aplicações num trabalho de investigação (e.g. Griffiths & Stokes, 2008; Keaton, 2013; Chaminé et al., 2013). Todos os modelos devem ser robustos, calibrados e apoiados numa escala de análise permanente baseada num entendimento lógico do comportamento real do terreno (Dinis da Gama, 1983).

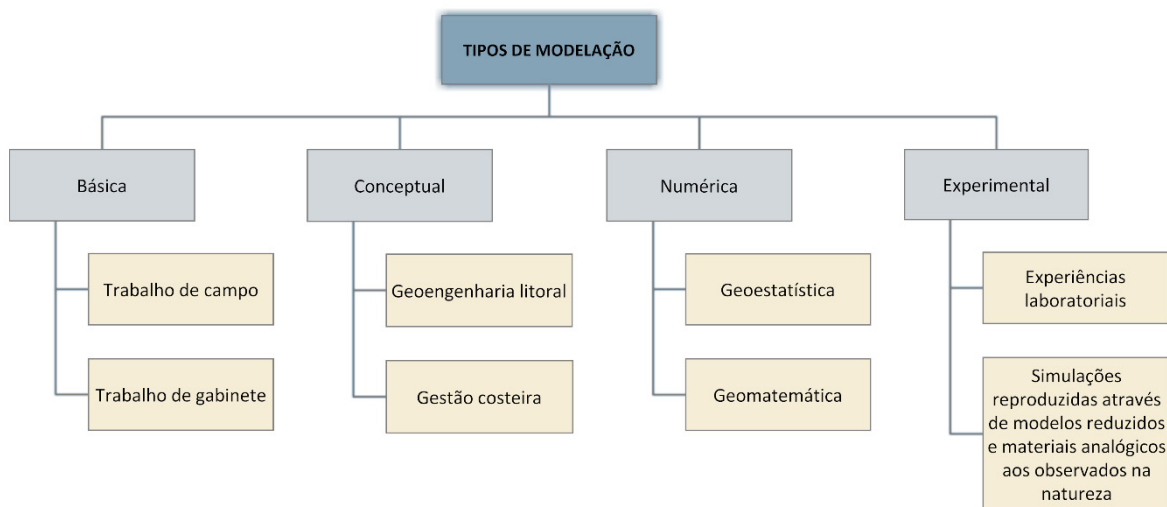


Figura 3.11 – Tipos de modelação existentes (adaptado de Pires, 2005).

Segundo Woodroffe (2002), e porque interessa a perspetiva da geomorfologia costeira, um modelo é uma estrutura, um sistema ou até mesmo a arquitetura de diferentes variáveis ou elementos que se inter-relacionam e que são representados. Podem variar de modelos conceptuais básicos até formulações matemáticas complexas. Podem ser previstos vários níveis de explicação e de refinamento (como se encontra descrito na figura 3.12), inclusive, de natureza descritiva, empírica e modelos teóricos (Wright & Thom, 1977; Hardisty, 1990).

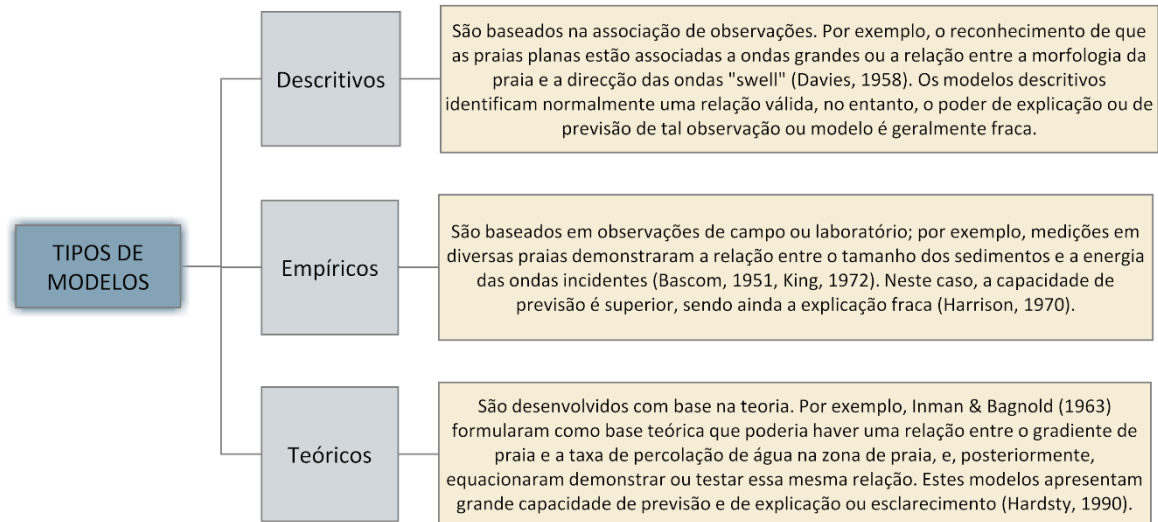


Figura 3.12 – Tipos de modelos (adaptado de Woodroffe, 2002).

Ao longo dos anos os modelos têm sido classificados tendo como base vários e diferentes critérios. Na tabela 3.8 são apresentados os diferentes tipos de modelos no contexto da geomorfologia costeira. É importante salientar que os modelos apenas permitem a obtenção de cenários prováveis e não resultados futuros, devido essencialmente a fatores estocásticos e não-linearidades em sistemas costeiros que evitam essa extrapolação exata (Oreskes et al., 1994).

Tabela 3.8 – Modelos em geomorfologia costeira e sua breve descrição (sintetizado de Woodroffe, 2002).

Modelos em geomorfologia costeira	
Físicos	Representações de um sistema de acordo com uma escala. Exemplo: Estudo de processos costeiros, recorrendo a tanques de ondas ou outros sistemas físicos (Bagnold, 1946; Schwartz, 1965).
Conceptuais	Muitos dos modelos que permitem explicar como se desenvolvem os sistemas costeiros são conceptuais. É possível, em vários casos, incorporar modelos conceptuais em modelos computacionais baseados em simulações. Exemplo: Modelo de Darwin (1842) sobre a evolução de recifes.
Computacionais	Modelos matemáticos, equações, modelos recorrendo a lógica e regras heurísticas e simulações computacionais. As simulações são uma importante ferramenta na análise de funções de sistemas costeiros demasiado complexos para avaliação empírica (Lakhan, 1989). Exemplos: Modelos sobre a evolução e morfologia de costas (e.g. Niedoroda et al., 1995); Estratigrafia costeira no holocénico (Cowell et al., 1995; Raper, 2000).

3.3.3. Modelação da morfodinâmica costeira

Segundo Woodroffe (2002), muitos dos problemas com que se debatem os geomorfólogos costeiros do século XXI são idênticos aos dos geógrafos e geólogos no século XX. Os conceitos de ocorrência cíclica têm vindo a sobrepor-se a modelos conceptuais de evolução costeira propostos por Johnson (1919) e modificados, posteriormente, por Steers (1953), Guilcher (1958), Zenkovich (1967) e Russel (1967). As ferramentas disponíveis para auxiliar os geomorfologistas costeiros são, cada vez mais, altamente sofisticadas.

A título de exemplo, através da telemetria e registos de dados é possível adquirir uma série de medições de forças hidrodinâmicas; como por exemplo a velocidade de correntes ou os parâmetros de onda (Wright & Thom, 1977). Com o auxílio de novas técnicas de dados espaciais, tais como fotogrametria auxiliada por computador, podem obter-se, também, modelos 3D de grande precisão.

Os sistemas de informação geográfica (SIG) representam um importante papel e constituem uma ferramenta cada vez mais utilizada, consistindo em sistemas computacionais a partir do qual é possível inserir, armazenar e manipular informação geográfica georreferenciada. É, assim, uma ferramenta eficaz para visualização de informação costeira (Ricketts, 1992; O'Reagan, 1996). Os sistemas de posicionamento global oferecem, de igual modo, uma rápida forma de obter mapas de grande parte das morfologias de sistemas costeiros (Woodroffe, 2002).

Em suma, os modelos geomorfológicos baseados em processos, formas e materiais, aliado à aplicação SIG (e.g. modelação dinâmica, geoestatística, classificações, etc.) fornecem uma ótima perspetiva no que diz respeito ao desenvolvimento das respetivas aplicações em zonas costeiras.

Nas figuras 3.13, 3.14 e 3.15 são apresentadas 3 estampas com os diferentes tipos de modelos em geomorfologia costeira que exemplificam a aplicação de diferentes metodologias, diferentes configurações e diferentes formas de visualizar ou de se apresentar a morfodinâmica costeira de uma determinada área, de modo a permitir o seu estudo e sua análise em termos até de engenharia ou gestão costeira.

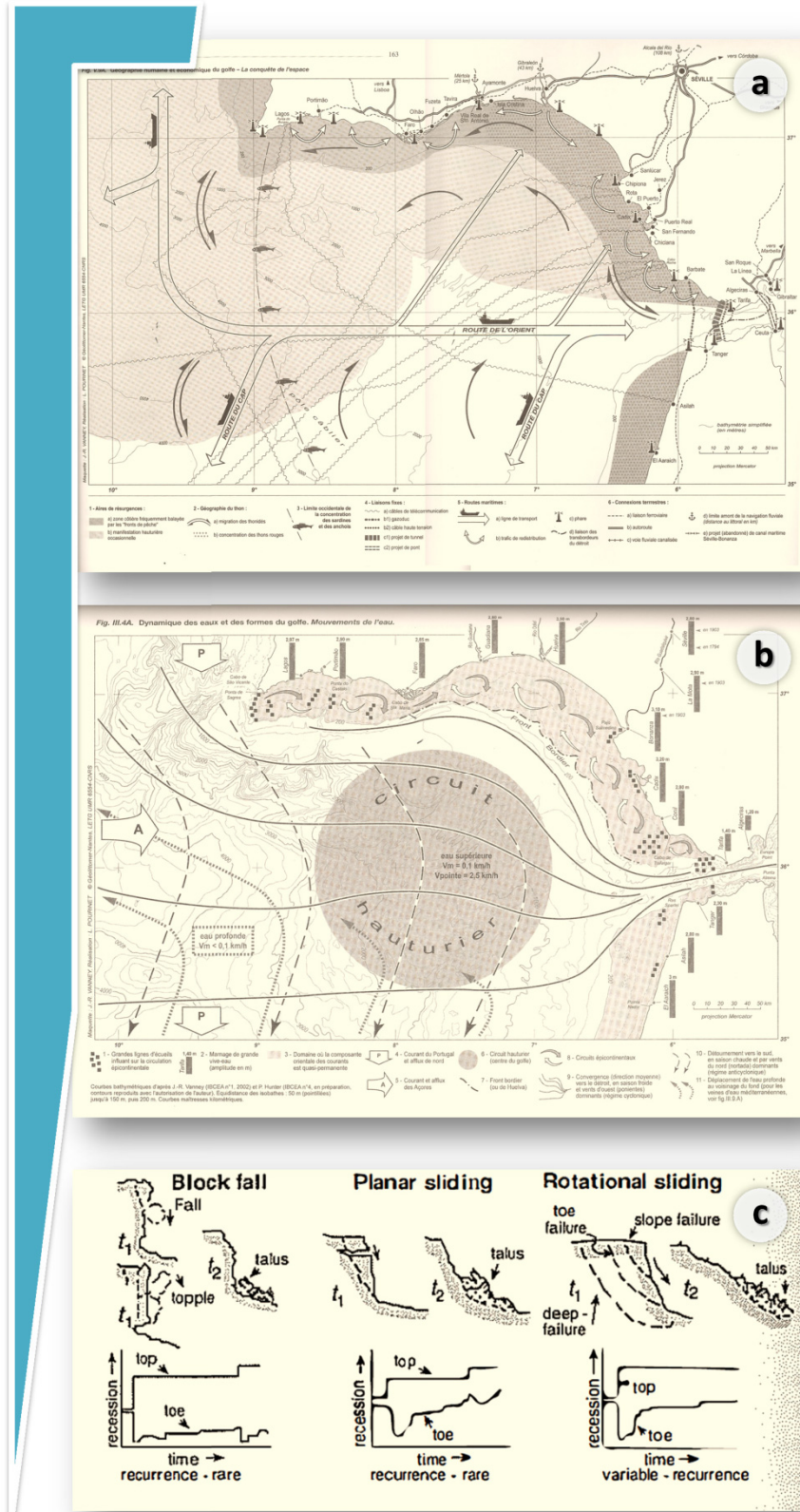


Figura 3.13 – Estampa 1 com exemplos de modelação conceptual e de morfodinâmica costeira: a - Geografia humana e económica do Golfo – a conquista do espaço / b - Dinâmica da água e formas do golfo, movimentos da água (in Vanney & Ménanteau, 2004); c - Recessão nas arribas de rochas brandas; diferentes modos de recuo (in Woodroffe, 2003).

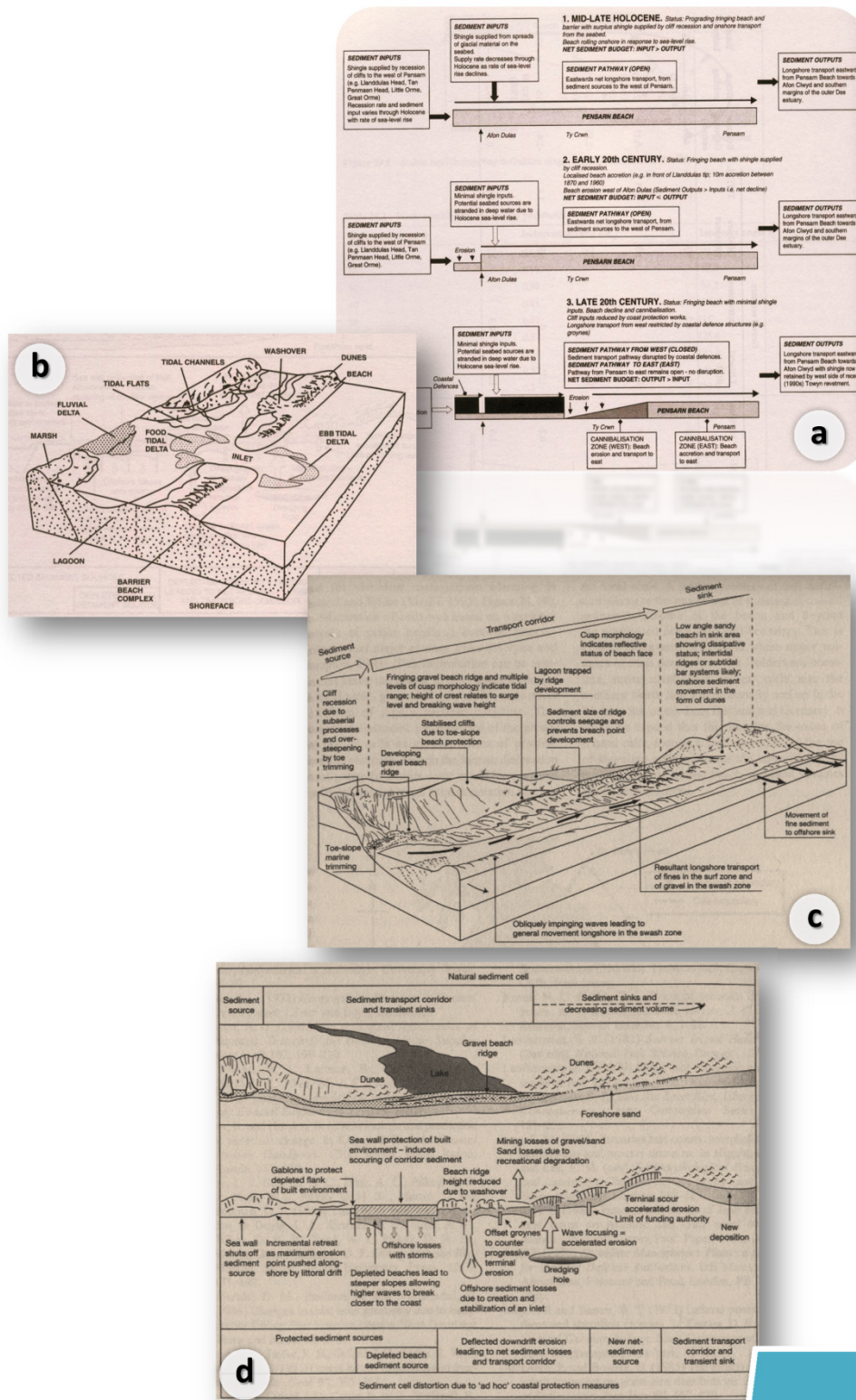


Figura 3.14 – Estampa 2 com exemplos de modelação conceptual e de morfodinâmica costeira: a - Modelo evolutivo conceptual da praia de “Pensarn” no Norte do País de Gales, desde meados do Holocénico / b - Exemplo de um modelo esquemático da barreira costeira (Fookes et al., 2007); c - Célula costeira generalizada típica das Ilhas Britânicas / d - Reestruturação das células costeiras (ou sistemas costeiros) com as progressivas medidas de engenharia costeira e obras de proteção: sua complexidade, evolução, impactos e reconfiguração da linha de costa (Fookes et al., 2005).

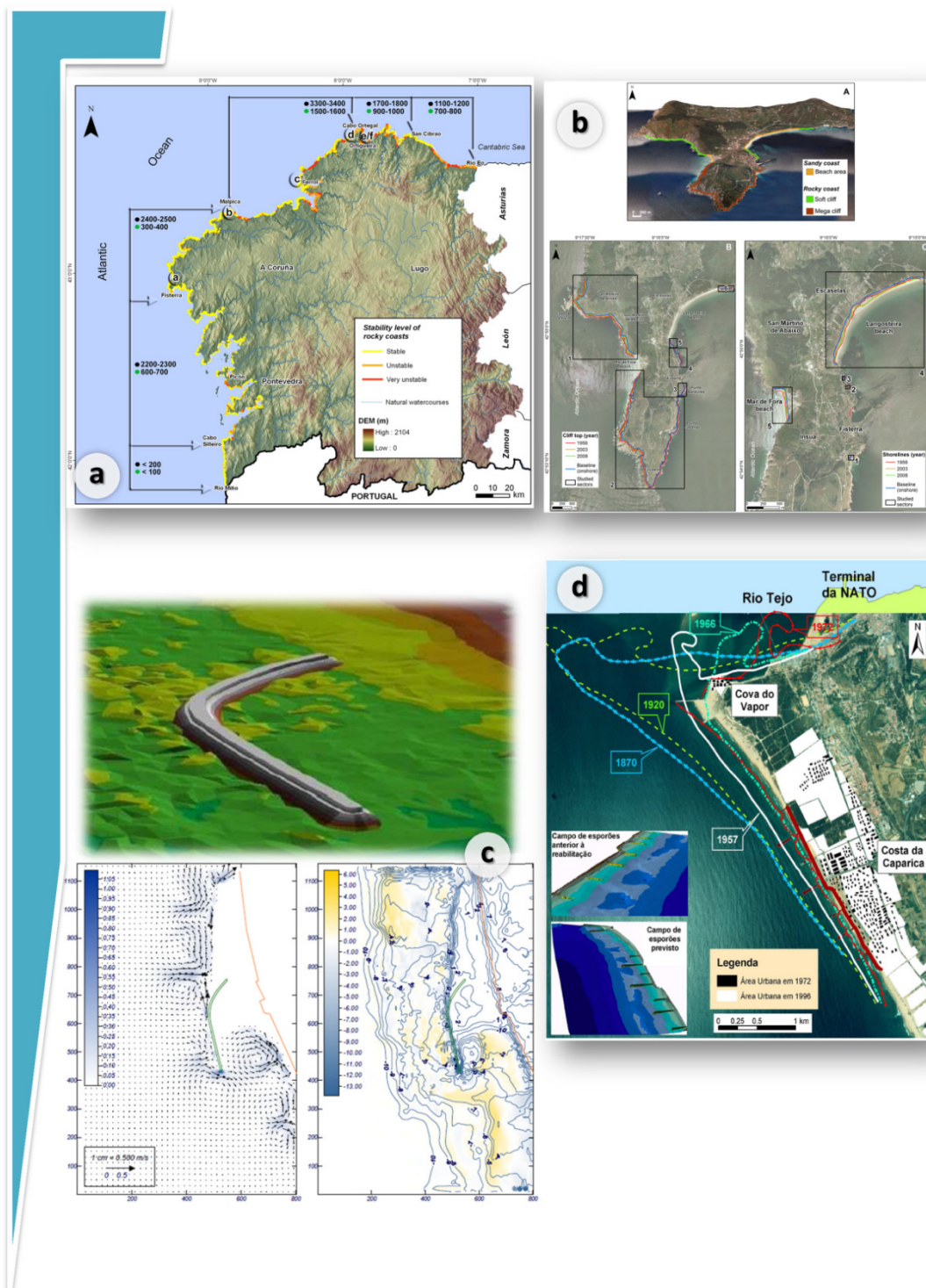
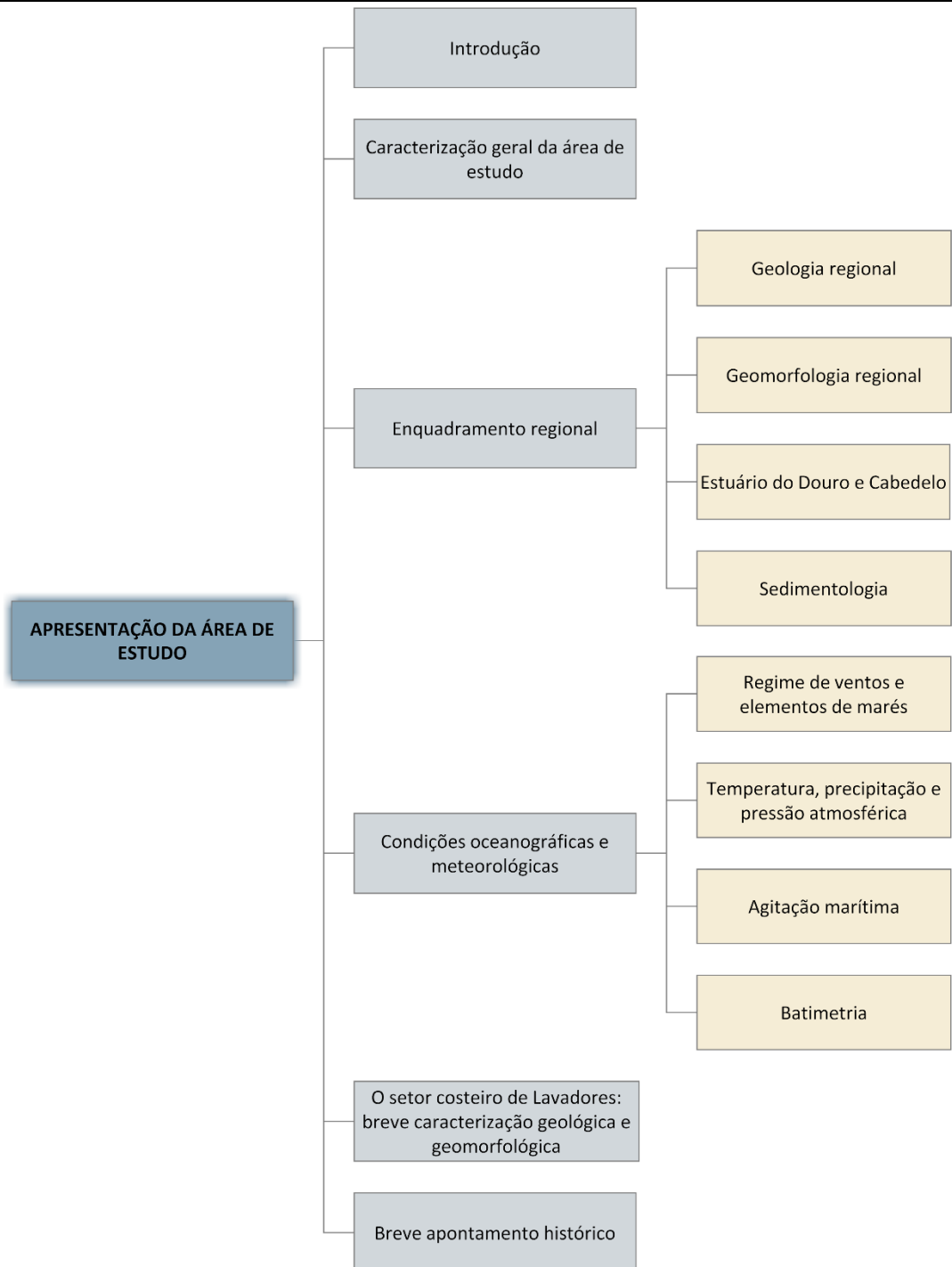


Figura 3.15 – Estampa 3 com exemplos de modelação conceptual e de morfodinâmica costeira: a - Mapa do grau de estabilidade ao longo da costa rochosa do Norte da Galiza (variando desde estável, a instável e muito instável), estão assinalados também alguns exemplos com ocorrências de movimentos de massa / b - Tipologia da costa na área estudada de Finisterra (Fisterra, NW Galiza) e modelo 3D, encontram-se também assinalados os sectores de costa rochosa e arenosa analisados para este estudo que no global fez parte do Projeto CARTGalicia em estreita cooperação entre o Instituto Superior de Engenharia do Porto e a Universidade de Santiago de Compostela (LABCARGA/ISEP-USC/2010-11) (Pérez-Alberti et al., 2013a); c - Perspetiva 3D do Quebra-mar destacado da Aguda (NW Portugal), e sua localização no modelo com os vetores de velocidade de corrente e intensidade (à esquerda) e a mudança de batimetria sobreposta à batimetria final (Taveira-Pinto et al., 2013); d - Evolução da linha de costa e da área urbana, modelo 3D dos esporões existentes e dos projetados (projeto de reabilitação do campo de esporões da Costa da Caparica e alimentação artificial de praia) (Pais-Barbosa et al., 2006).

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



4. APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. Introdução

Neste capítulo é realizado um enquadramento geral da área envolvente ao setor de estudo, no que diz respeito à descrição das características geográficas, geológicas e geomorfológicas. Serão abordadas as particularidades em termos de agitação marítima, níveis de maré, sedimentologia e, ainda, efetua-se uma análise detalhada das características hidrodinâmicas, nomeadamente altura de onda, período e rumos.

A caracterização meteorológica e oceanográfica corresponde a uma descrição de dados relativos a Portugal Continental, com breve referência à informação existente da marginal entre Leixões e Foz do Douro, dando particular ênfase à bacia hidrográfica do Douro.

Tendo em conta a dinâmica da envolvente ao setor de estudo e consequente influência na morfologia da mesma, é importante a descrição de elementos geológicos na Foz do Rio Douro e Cabedelo, assim como do granito de Lavadores (Canidelo) mais especificamente (figura 4.1).

«O Cabedelo para mim era o deserto cheio de prestígio e de aventuras...»

In: Raul Brandão, Os Pescadores (1923)



Figura 4.1 – Fotografia aérea oblíqua do setor de estudo (Foto Engenho, 2008).

4.2. Caracterização geral da área de estudo

Portugal Continental encontra-se localizado na extremidade SW da Península Ibérica, fazendo fronteira com Espanha (a Norte e Este) e com o Oceano Atlântico (a Sul e Oeste). A sua forma assemelha-se a um quadrilátero, apresentando uma área de aproximadamente 89.000 km² (Ferreira, 2000).

De acordo com Ferreira (2000), a extensão Norte-Sul (de 42°09' até 36°58' N) alcança os 561km e, por sua vez, a extensão Leste-Oeste (6°12' até 9°30' W) os 218km. Verifica-se, ainda, na geografia de Portugal Continental, a evidência de influências e características Atlânticas e Mediterrâneas, a Norte e Sul, respetivamente, sendo evidentes no clima, flora e fauna. Os maiores contrastes são realmente os que se estabelecem entre o Norte e o Sul, e este facto apresenta maior realce quando se fala em termos climáticos e se situa Portugal numa faixa de transição (Daveau, 1995).

A área em estudo situa-se no NW de Portugal, mais especificamente na freguesia de Canidelo, pertencente ao concelho de Vila Nova de Gaia (figura 4.2). O setor costeiro de Lavadores está localizado no Noroeste de Portugal Continental, pertencendo à freguesia de Canidelo, em Vila Nova de Gaia. O concelho de Vila Nova de Gaia, na Região Norte de Portugal, apresenta uma população de 302.295 habitantes e uma superfície de cerca de 170 km² (INE, 2011), estando dividido em 15 freguesias (após a reorganização administrativa das freguesias).

De acordo com a informação presente no Plano Diretor Municipal (CMVNG, 2005) a sua população é tendencialmente jovem e em idade ativa. A freguesia de Canidelo, por sua vez, com 27.295 habitantes (INE, 2011) apresenta uma área de aproximadamente 8.9km², fazendo fronteira com: as freguesias de Santa Maria e Afurada (a nascente); o Rio Douro (a norte); o Oceano Atlântico (a poente); e a freguesia da Madalena (a sul).

Para caracterização da área em estudo recorreu-se à cartografia geológica 9-C e 13-A e suas notícias explicativas (Costa & Teixeira, 1957 e Teixeira et al., 1962, respetivamente), bem como às cartas militares nº 109, 110 e 122, como se visualiza na figura 4.3, que mostra também um aspeto geral do sector rochoso.

Na figura 4.4 encontram-se localizados os 4 corredores de estudo ao longo da plataforma e da costa rochosa, onde se realizou o estudo geológico e geomecânico dos blocos e análise à sua mobilidade.

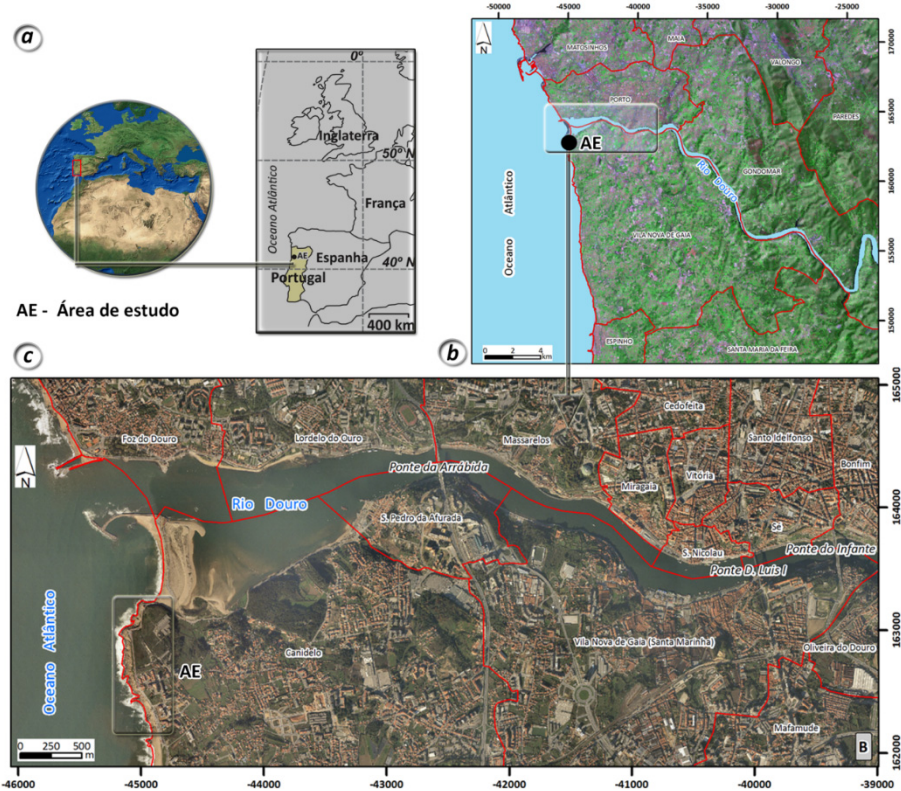


Figura 4.2 – Enquadramento geográfico de: a - Portugal Continental; b e c - V. N. Gaia e concelhos envolventes (Fonte: Imagem de satélite Landsat [composição colorida 7-4-2 R-G-B, sensor ETM+]; Limite de concelhos da Carta Administrativa Oficial de Portugal, Instituto Geográfico Português, 2008).

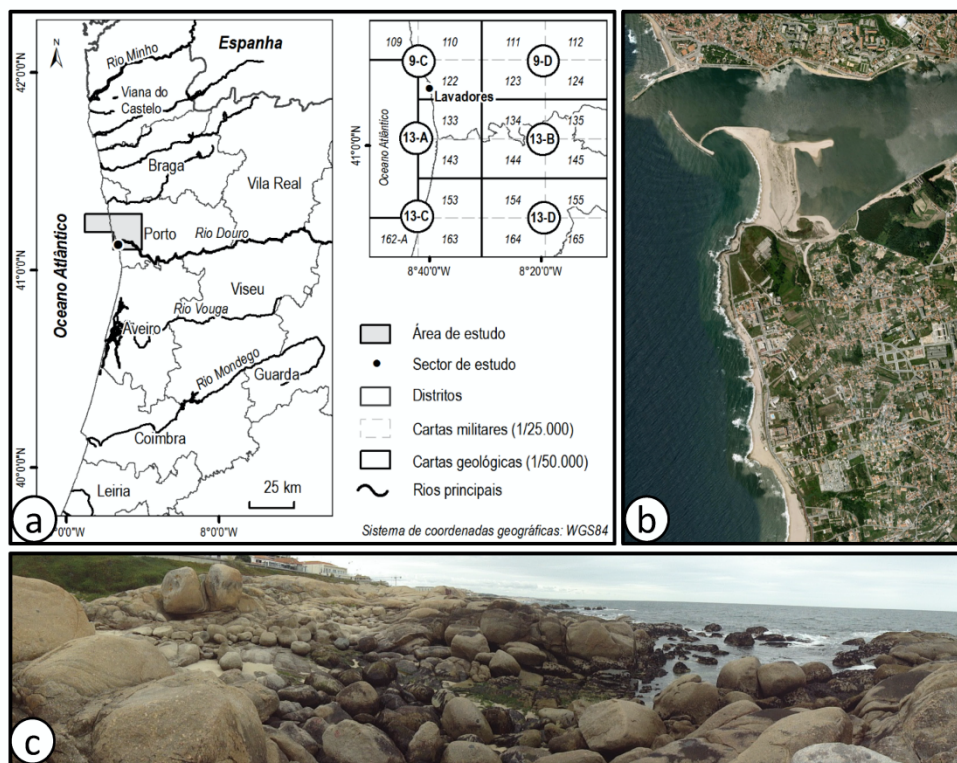


Figura 4.3 – Caracterização da zona de estudo a - Cartografia utilizada; b - Fotografia do local de estudo Google Earth Pro; c - Fotografia panorâmica do setor rochoso de Lavadores mostrando a predominância de blocos rochosos.

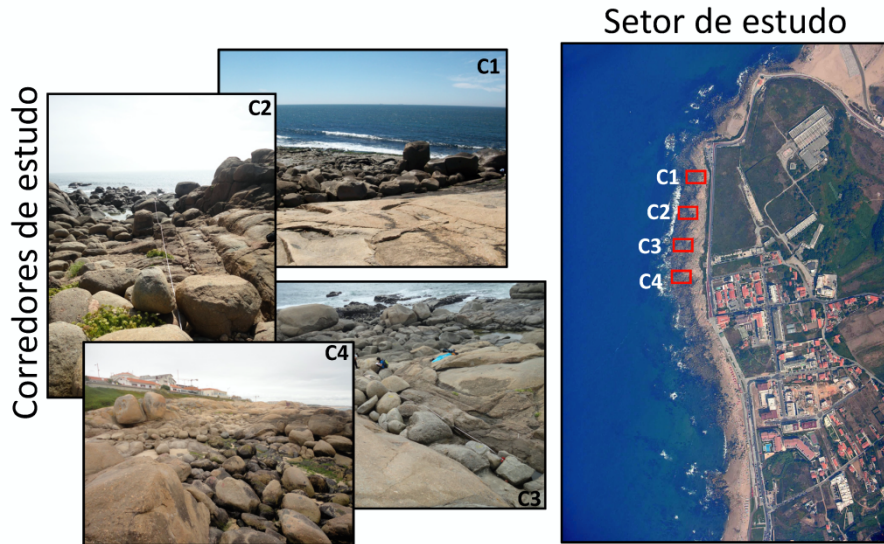


Figura 4.4 – Localização dos corredores de estudo (C1, C2, C3 e C4) na costa rochosa de Lavadores.

4.3. Enquadramento regional

4.3.1. Geologia regional

A região compreendida entre Vila Nova de Gaia e Porto localiza-se no domínio geotectónico do Maciço Ibérico na fronteira da Zona de Ossa-Morena (ZOM) e da Zona Centro-Ibérica (ZCI) (Ribeiro et al., 2007). É importante salientar que esta fronteira é efetuada pela faixa de cisalhamento de Porto-Coimbra-Tomar, cuja direção geral é NNW-SSE (Chaminé et al., 2003; Gomes et al., 2007). Este contacto é brusco e bem marcado (Teixeira, 1970) e encontra-se muito próximo da linha da maré, sendo visível apenas em alturas de baixa-mar.

Na área ribeirinha de Vila Nova de Gaia destacam-se (pormenores em Chaminé et al., 2010): a) o granito da Afurada/Arrábida (granitóide de grão fino, de duas micas, geralmente com foliação tectónica e orientação entre N80° e N120°E); b) o granito de Lavadores (porfiróide, grão grosseiro, com megacristais de feldspato e encraves, geralmente, biotíticos (Teixeira, 1970); c) mancha de rochas metassedimentares a Oeste de S. Pedro da Afurada, formada por micaxistos com granada e distena (Carrington da Costa & Teixeira, 1957).

Como se pode verificar pela figura 4.5, grande parte da região litoral encontra-se ocupada por depósitos de cobertura de idade holocénica e/ou pliocénica (Araújo, 1991; Araújo et al., 2003). De acordo com a classificação proposta por Ferreira et. al (1987), o granito de Lavadores encontra-se na classe dos granitos pós-tectónicos, constituindo um extenso afloramento, de orientação NW-SE, desde a praia de Lavadores até Caldas de S. Jorge (Chaminé, 2000).

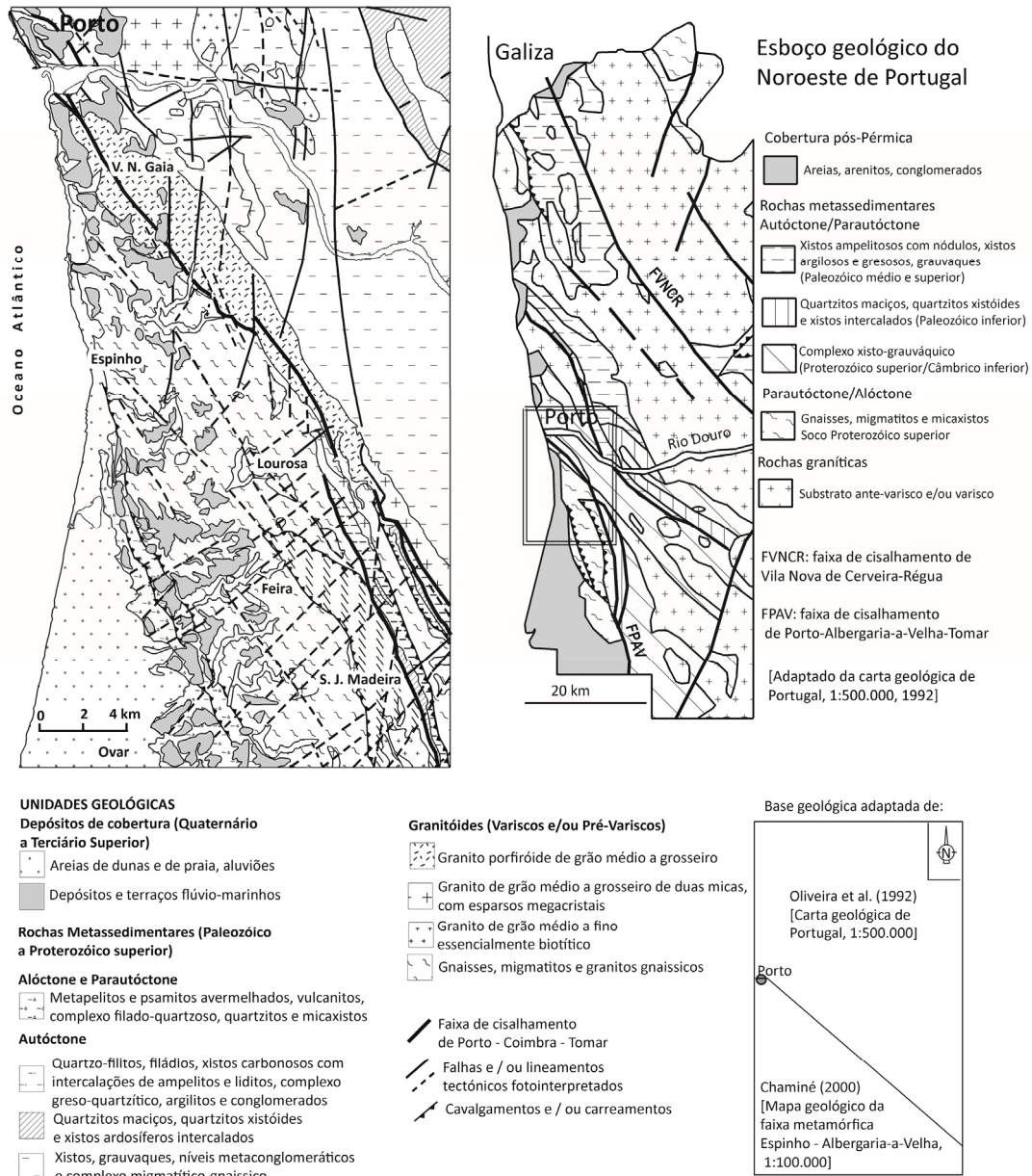


Figura 4.5 – Esboço geológico regional do grande Porto (base geológica: (i) Norte do rio Douro: reinterpretada e adaptada de Pereira et al., 1989; Oliveira et al., 1992; Chaminé et al., 2003; e (ii) Sul do rio Douro: reinterpretada e adaptada de Chaminé, 2000; Chaminé et al., 2003).

A praia de Lavadores é o local onde é possível ter perceção do contacto entre as zonas referidas anteriormente: a Norte e Leste encontra-se o granito de Lavadores (passagem para ZCI); a Sul e a Leste encontram-se as rochas metamórficas (passagem de ZOM). O granito de Lavadores terá aproveitado uma zona de fraqueza, na crosta terrestre, instalando-se no seio de rochas mais antigas (Gomes et al., 2002).

O denominado Granito do Porto, i.e., granitóide de duas micas, com predomínio de moscovite, grão médio e leucocrata (Carrington da Costa & Teixeira, 1957; Almeida, 2001) aflora em grande parte

de Vila Nova de Gaia, contactando com uma série de unidades tectonoestratigráficas de médio a alto grau metamórfico (Chaminé, 2000; Chaminé et al., 2003) (figura 4.6). É de salientar, ainda, a presença de depósitos de cobertura plio-quadernários.

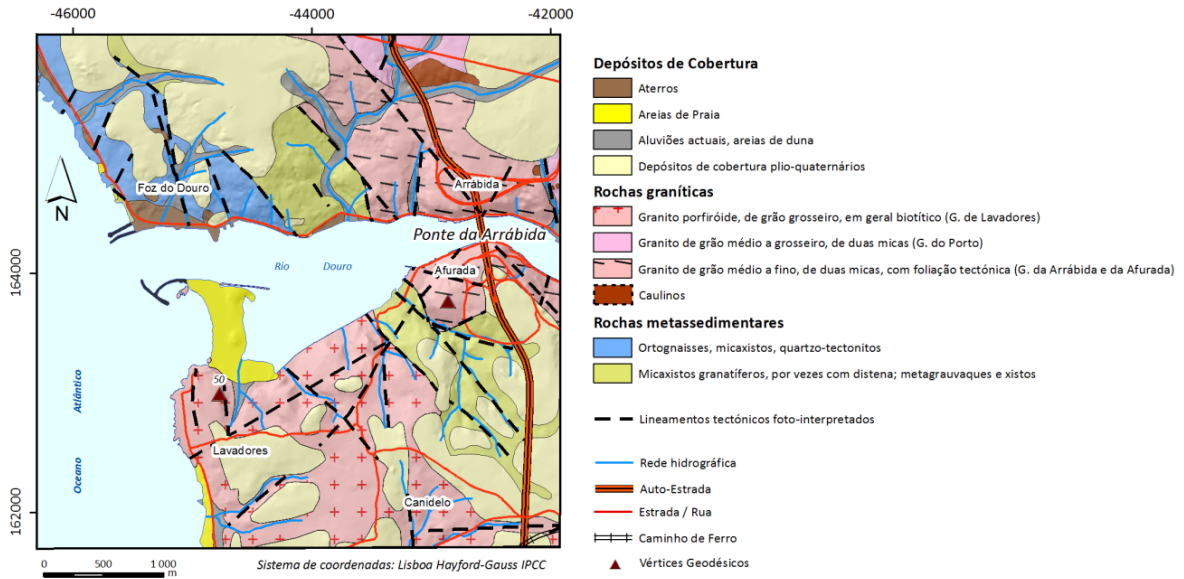


Figura 4.6 – Esboço geológico regional da área a Sul da Foz do Douro (adaptado de Carrington da Costa & Teixeira, 1957; Pereira et al., 1989; Chaminé, 2000; COBA, 2003). In: Chaminé et al. (2010).

4.3.2. Geomorfologia Regional

A região do grande Porto, sob o ponto de vista geomorfológico, enquadra-se na região do Minho Ocidental, definido entre o litoral e o conjunto de alinhamentos montanhosos do interior (Araújo, 1991). A morfologia da região caracteriza-se em traços muito gerais, de acordo com Brum Ferreira (1983, 2004), por uma associação de fatores litológicos, estruturais e climáticos, sendo que a tectónica apresentou um papel preponderante na evolução do relevo. A região do Minho Ocidental apresenta limites bem definidos, permitindo a divisão em três subunidades que se desenvolvem de W para E: (i) o relevo marginal; (ii) faixa intermédia de colinas interiores; e (iii) alinhamento montanhoso interior (elevações desde a Serra da Peneda à Serra do Marão).

Na figura 4.7 visualiza-se um esboço morfotectónico da região, sendo evidentes alguns relevos tectónicos. A presença de depósitos plio-quadernários discordantes sobre o substrato ante-Mezozóico, indica o arrasamento do relevo e modelação da superfície do Maciço Ibérico ou, por outro lado, o entalhe da rede hidrográfica atual e retoque marinho quadernário no litoral da região (Araújo et al., 2003).

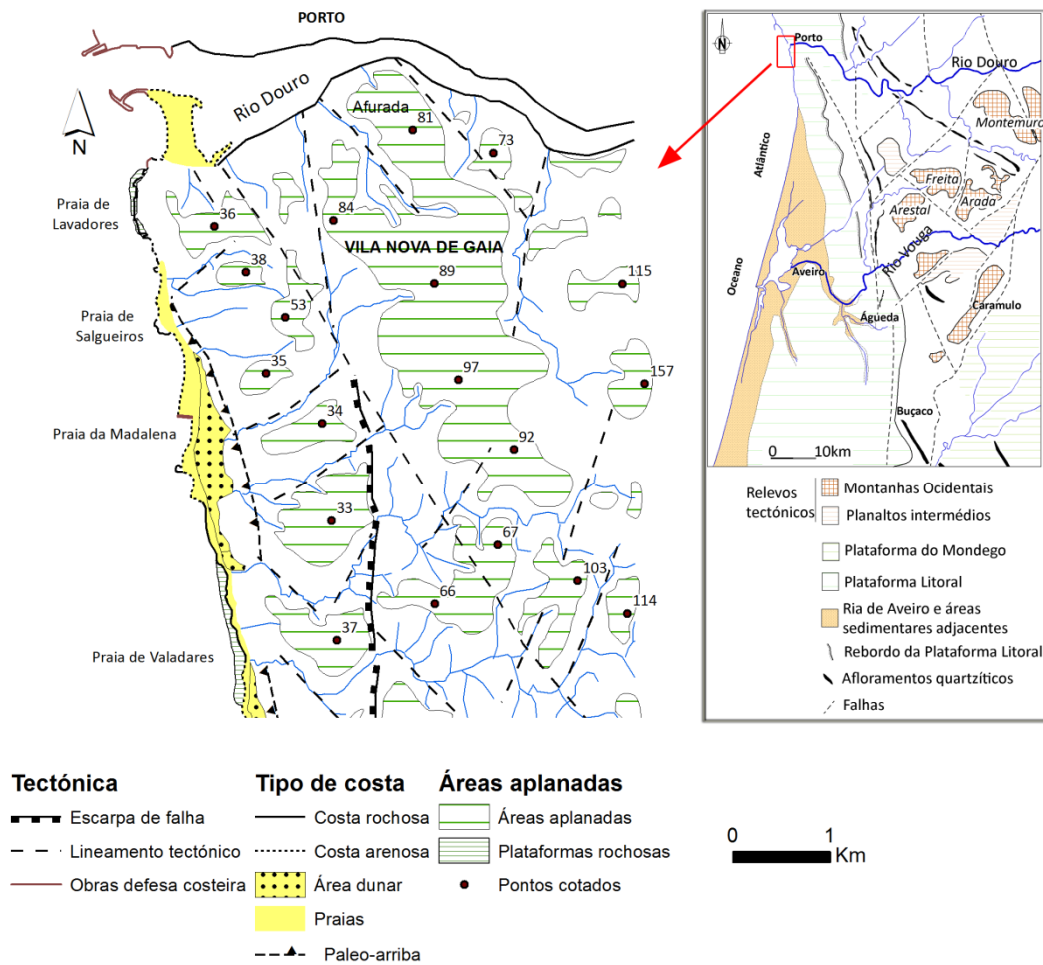


Figura 4.7 – Esboço morfotectónico da região de Vila Nova de Gaia, no quadro regional da faixa de cisalhamento de Porto-Albergaria-a-Velha-Águeda (adaptado de Araújo et al., 2003). In: Gomes (2008).

Sob o ponto de vista geomorfológico local, através da figura 4.8a verifica-se que a área de estudo é constituída por uma zona, em geral, aplanada, com relevos principais segundo alinhamento NW-SE desde a Arrábida (Porto) e Afurada (V.N.Gaia) até Santo Ovídio. Destacam-se os relevos: (i) Afurada (82m); (ii) Coimbrões (114m); (iii) Devesas (124m); e (iv) Monte da Virgem (230m). Vila Nova de Gaia apresenta desta forma uma plataforma relativamente larga, estendendo-se para Norte e descendo suavemente para o mar a ocidente e a Sul (Araújo et al., 2003). O vale do rio Douro, instalado na plataforma, de leito profundo e apertado até à foz, de vertentes íngremes chega a atingir os 40 ° na parte terminal do Douro (figura 4.8b).

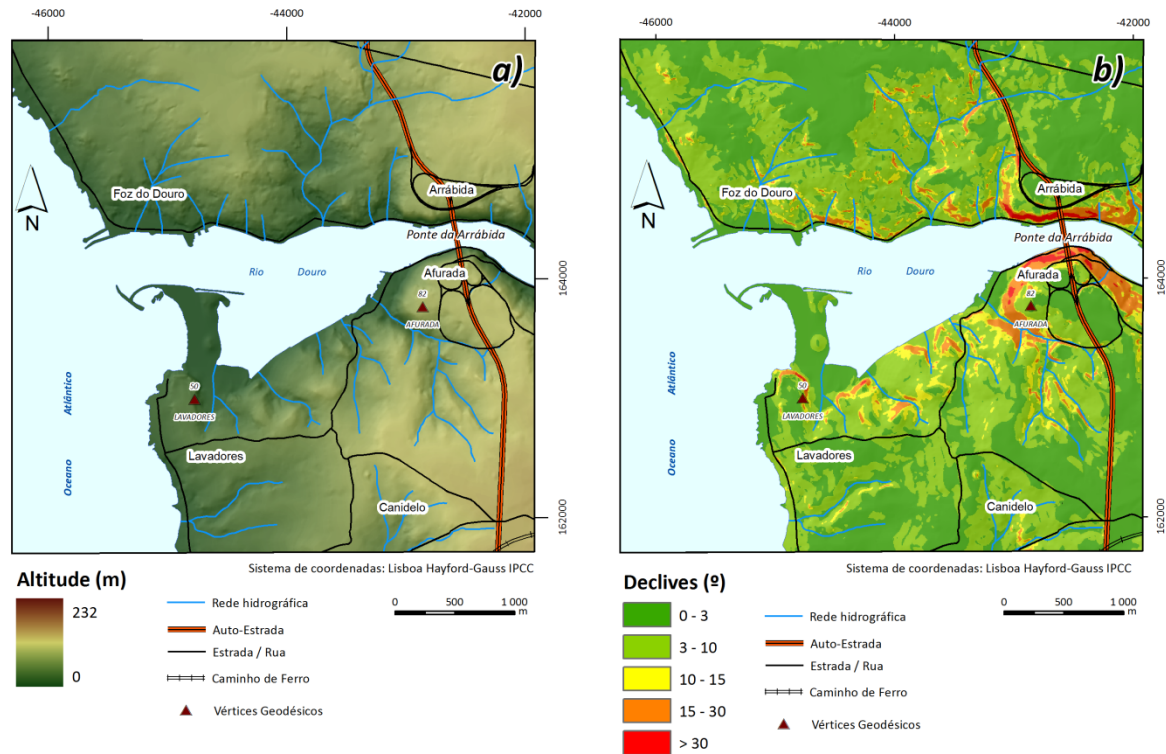


Figura 4.8 – a - Modelo digital de terreno da área a Sul da Foz do Douro; b - Esboço de declives da área a Sul da Foz do Douro.

4.3.3. Estuário do Douro e Cabedelo

Estuário do Douro

De acordo com dados de INAG (2001, 2003) considera-se que o estuário do Douro representa o término da maior bacia hidrográfica da Península Ibérica, com cerca de 97 682 km de extensão. Previamente à construção da barragem de Crestuma, em 1985, a maré penetrava para o interior sendo que, atualmente, a barragem constitui o limite do estuário, a 21.6 km da foz.

A largura mínima do estuário verifica-se entre as pontes de D. Luís I e D. Maria, 130m, e a máxima, 1310m, entre as pontes da Arrábida e D. Maria (figura 4.9). A sua entrada é parcialmente obstruída pelo Cabedelo (língua móvel de areia), sendo a profundidade maior nos setores a jusante. Verificou-se que a extração de sedimentos a montante e no estuário foi diminuindo uma quantidade significativa de sedimentos indispensáveis para alimentação da deriva litoral. Assim, estima-se que o transporte referente a um volume de sedimentos, 1 e 2 milhões de m³ (anuais), seja efetivamente um transporte real de apenas algumas dezenas ou centenas (Carvalho & Rosa, 1988). A extração de sedimentos a montante e no estuário, cuja quantificação é desconhecida, foi subtraindo uma quantidade substancial de sedimentos, indispensável para alimentar a deriva litoral. O rio Douro constitui a principal fonte sedimentar, abastecendo o litoral a sul da sua foz (Jesus, 2003).

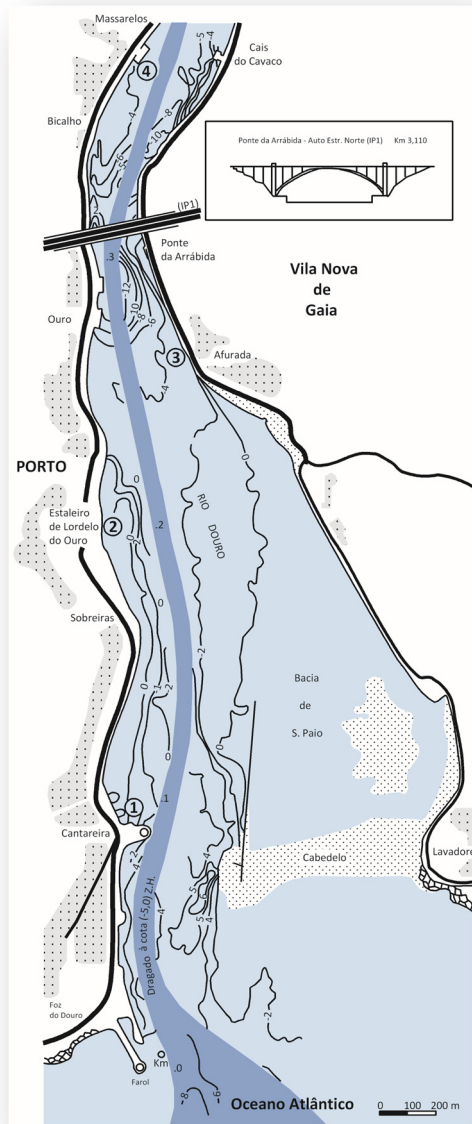


Figura 4.9 – Esboço da batimetria e canal de navegação (gentilmente cedido por IND [Instituto de Navegabilidade do Douro], 1991).

Cabedelo

A restinga arenosa apresenta uma forma muito móvel, respondendo às marés, agitação de ondas e correntes fluviais. Verifica-se que durante períodos de fraco caudal a nível fluvial a extremidade do Cabedelo recua para montante, devido à energia das ondas e marés que apresentam maior intensidade no estuário. Por outro lado, durante a ocorrência de cheias demonstra-se o contrário. Após um período de inundação a agitação marítima executa a redistribuição das areias formadas. De acordo com Jesus (2003), em Maio de 2002 verificou-se a existência de menos sedimentos na extremidade oeste do cabedelo e, contrariamente, em Setembro do mesmo ano aquela parte da

estrutura encontra-se voltada para Leste, bem como em Dezembro. Durante esse mês, Jesus (2003) verificou a ocorrência de cheias que condicionaram a morfodinâmica do Cabedelo e, conseqüentemente, a estrutura surge em Março de 2003 com a extremidade norte voltada para jusante.

4.3.4. Sedimentologia

Dias (1987) concluiu que a fração, em termos de textura, predominante na plataforma portuguesa é a areia. Porém, todas as outras classes se encontram representadas, à exceção da argila. De acordo com a divisão em 5 regiões distintas, interessa referir que entre o Rio Minho e a Nazaré os sedimentos são cascalhentos, com a componente terrígena a atingir maiores valores de toda a plataforma. Isto deve-se ao facto de existir um bom abastecimento de materiais provenientes do continente que foram drenados pelos rios que na região afluem. Na figura 4.10 verifica-se que a textura predominante são o caso das areias litoclásticas, representadas por AC1, AG1, AM1 e AF1, cascalhenta, grosseira, média e fina, respetivamente. Observam-se, ainda, alguns sedimentos lodosos (AL1 e LA1).

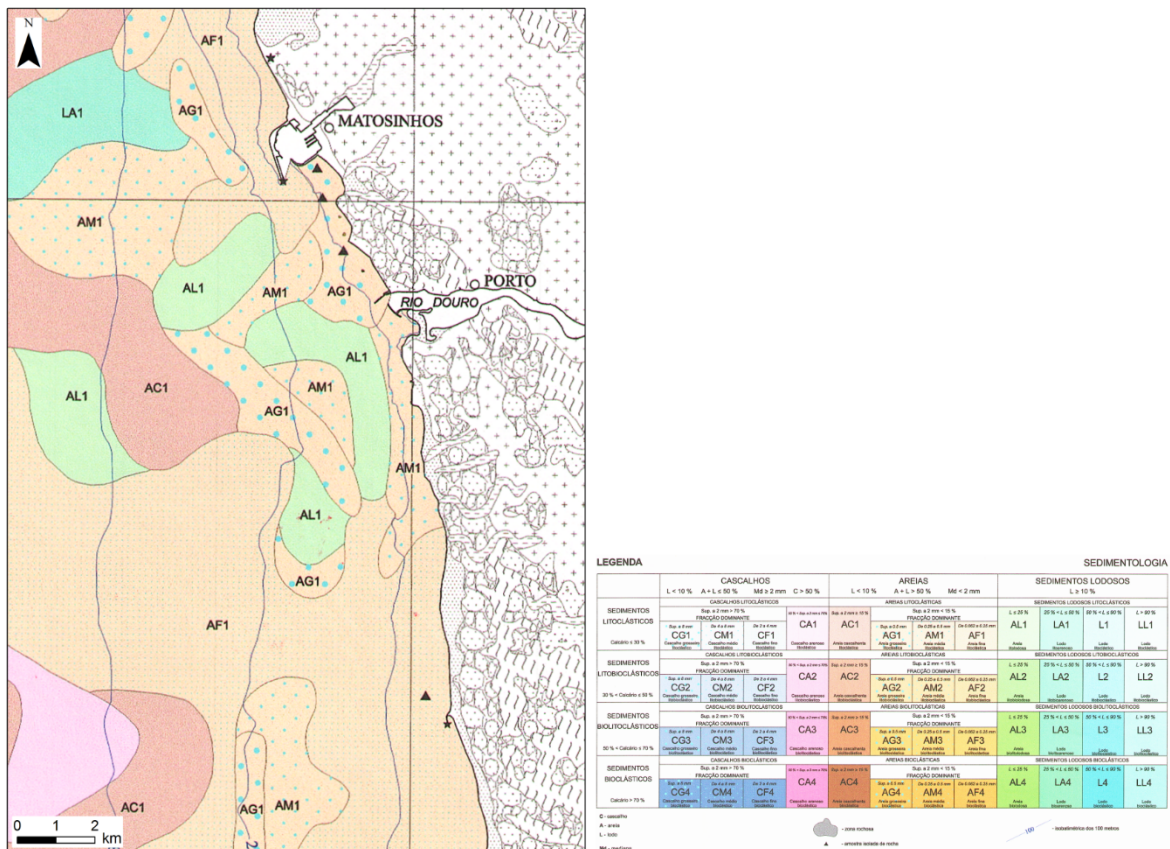


Figura 4.10 – Extrato da Carta dos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental Portuguesa (I.H. 2010).

4.4. Condições oceanográficas e meteorológicas

Os dados apresentados para caracterização meteorológica e oceanográfica são uma síntese dos fornecidos através da boia simulada WANA 1045064 (Puertos del Estado, 2012) e da boia ondógrafo instalada pelo Instituto Hidrográfico em Leixões, assim como informação relativamente à estação de Porto/Pedras Rubras. É de salientar que o Instituto Hidrográfico dispõe de uma boia oceânica em Leixões, tendo sido no final de 2011 deslocada para sul. Devido a esta ocorrência resultaram algumas interrupções na aquisição de dados, sendo que o suporte para a realização deste estudo incidiu, também, na obtenção de dados simulados em Puertos del Estado (2012) e através da plataforma Windguru (2014), sendo os dados aqui obtidos baseados em previsões de modelos meteorológicos.

Na figura 4.11 encontra-se, assim, representada a área de estudo, juntamente com a representação da estação ondógrafo do I.H (Leixões) e, ainda, dados simulados.

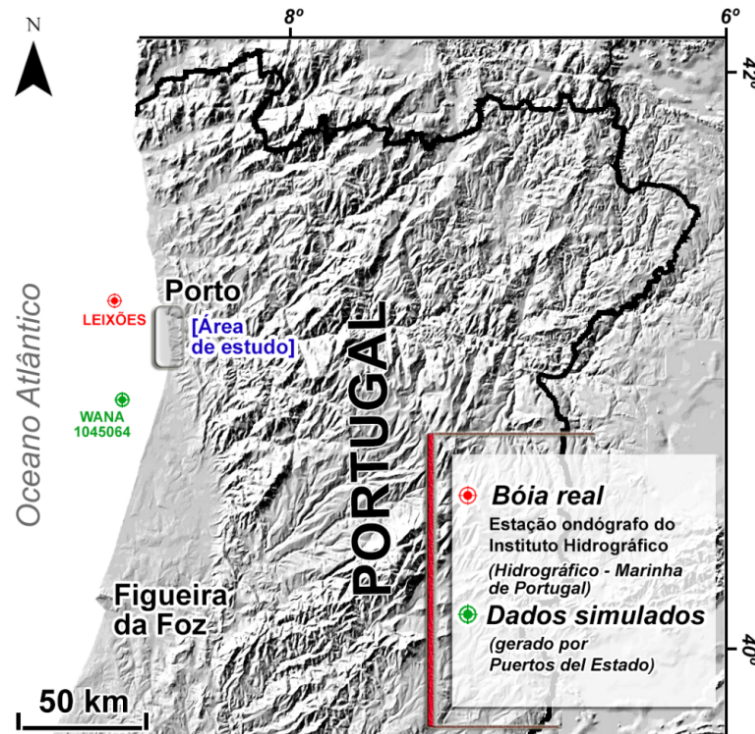


Figura 4.11 – Localização da área de estudo, da estação ondógrafo real e dos dados simulados (adaptado de Pires, 2013).

Na figura 4.12 encontra-se informação resumida graficamente, relativamente à velocidade média dos ventos verificados e respetiva direção, altura de onda significativa e respetiva frequência, segundo dados simulados em Puertos del Estado (2012).

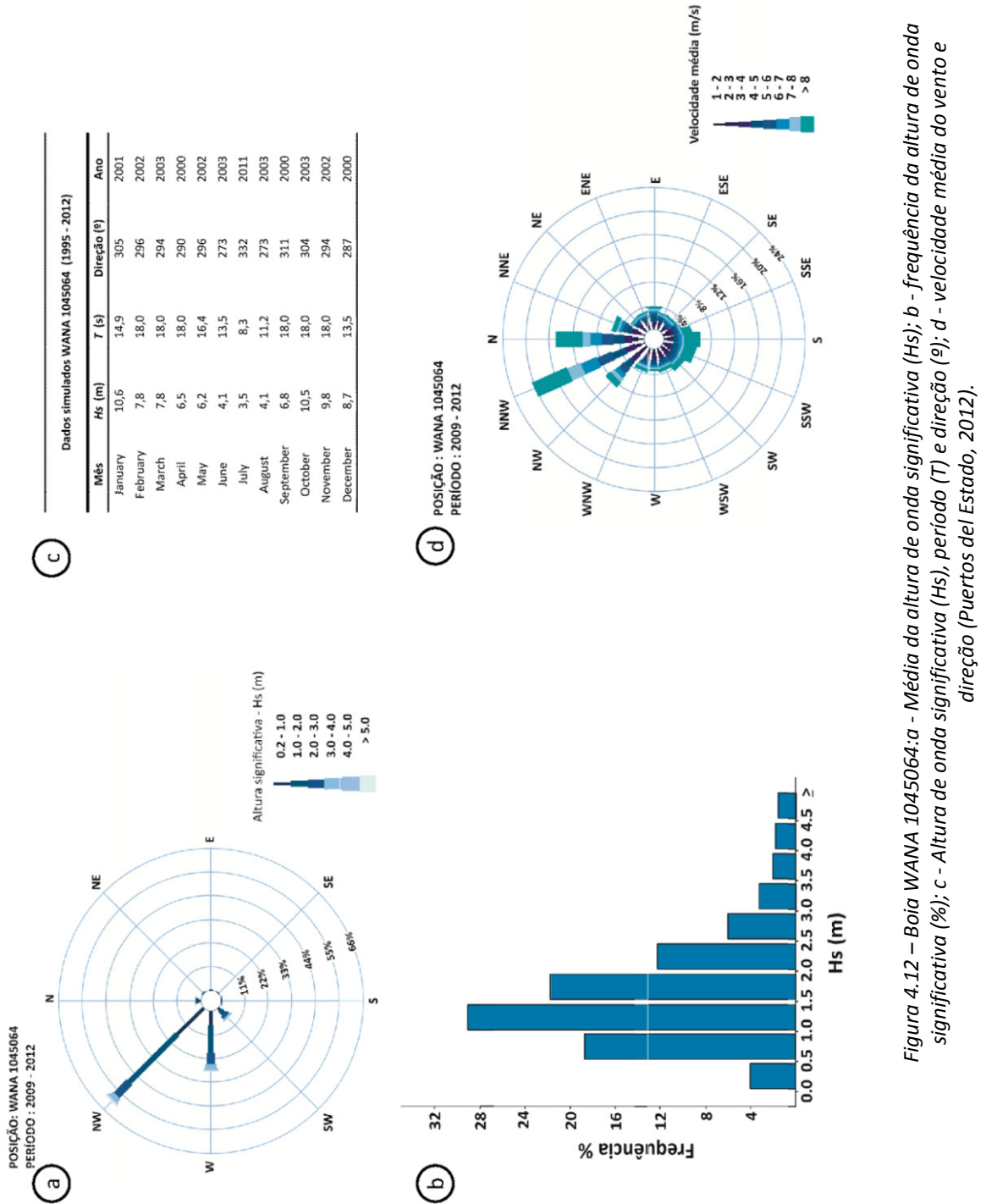


Figura 4.12 – Boia WANNA 1045064: a - Média da altura de onda significativa (Hs); b - frequência da altura de onda significativa (%); c - Altura de onda significativa (Hs), período (T) e direção (º); d - velocidade média do vento e direção (Puertos del Estado, 2012).

4.4.1. Regime de ventos e elementos de marés

Verifica-se a existência de ventos dominantes, geralmente, com direção N e NW, com exceção do Inverno, em que predomina a direção SW e mais forte que no Verão. Verificam-se que os ventos mais usuais de N para NW apresentam um alcance de 3,5m/s a 5m/s, de acordo com a Estação Porto/Pedras Rubras (tabela 4.1). Nesta área, encontra-se um ambiente costeiro rochoso com blocos de grandes dimensões, praias arenosas e estruturas marítimas. Na costa oeste de Portugal continental, a amplitude máxima de marés é de 4m, sendo estas do tipo semidiurnas (Pais-Barbosa, 2007). Na tabela 4.2. exemplificam-se alguns elementos de marés verificados em 2005.

Tabela 4.1 – Frequência e velocidade média na estação Porto/P.Rubras (adaptado de I.H. 2005).

Vento - Porto/P.Rubras (1961-90)																	
Frequência F (%) e Velocidade média V (km/h) para cada rumo																	
	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		Veloc. média (km/h)
	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	
Jan	9,7	13,3	5,3	9,1	34,9	14,4	8,7	17,2	12,4	24,7	7,8	19,6	8,7	16,1	8,3	17,1	15,4
Fev	11,9	13,4	5,3	9,5	25,3	13,3	7,2	16,5	13,2	25,7	10,3	21,5	11,9	17,8	10,5	18,4	16,2
Mar	15,6	13,8	5,9	10,1	21,4	13,7	4,6	13,5	9,1	23,6	9,9	21,0	12,6	17,3	14,8	20,8	15,4
Abr	20,2	14,5	4,7	9,5	14,4	13,9	5,6	13,6	8,8	20,6	8,2	19,8	13	16,3	18,9	21,2	15
Mai	18,7	14,3	2,7	9,9	6,3	14	3,5	12,9	9,8	20,2	10,1	17,3	15,9	15,1	26,8	19,8	14,6
Jun	15,9	13,0	2,2	9,8	5,8	14,9	3,1	12,5	9,2	16,7	10,1	16,2	18,4	13,2	28,1	17,7	12,4
Jul	17,5	13,0	2,3	10,9	4,5	15,8	2,1	9,8	7,0	14,3	9,6	12,5	18,6	13,0	29,7	17,5	12,2
Ago	19,5	12,4	2,8	9,3	5,8	12,9	3,0	10,0	6,7	13,7	7,9	12,6	13,2	13,8	28,6	18,0	12
Set	14,8	10,1	3,9	7,9	14,0	11,7	6,1	10,9	10,9	19,6	7,5	14,9	12,8	12,8	18,2	16,7	11,6
Out	12,4	11,4	5,3	7,9	24,5	11,6	8,5	13,1	11,1	21,9	7,7	16,4	10,5	13,8	12,8	16,2	13,1
Nov	11,4	12,3	6,3	8,8	34,1	13,2	9,1	16,1	11,0	22,6	6,0	19,1	7,6	14,3	9,4	16,3	14,2
Dez	10,2	12,6	6,5	9,1	34,9	14,3	10,4	16,1	12,1	25,4	7,1	21,6	8,2	17,2	6,5	15,8	15,5
Ano	14,8	12,9	4,4	9,2	18,9	13,5	6,0	14,4	10,1	21,4	8,5	17,6	12,6	14,8	17,7	18,2	14

Tabela 4.2 – Elementos de marés do ano de 2005 para a Boia de Leixões (adaptado de I.H. 2005).

Elementos de marés (2005) - Leixões						
PM max	pm AV	PM AM	NM	BM AM	BM AV	BM min
3,91	3,47	2,65	2	1,37	0,53	0,18

4.4.2. Temperatura, precipitação e pressão atmosférica

As condições meteorológicas em Portugal Continental são condicionadas, essencialmente, pela latitude (região de transição entre a zona dos anticiclones tropicais e a zona das depressões subpolares do Hemisfério Norte), orografia, influência do oceano Atlântico (I.H. 2005). O limite entre as faixas de circulação de Oeste (fluxo zonal) e das altas pressões subtropicais que passa pela Península Ibérica tem influência no clima da mesma, sendo este limite variável de ano para ano. No Inverno, o território é invadido por massas de ar frio, causando fortes precipitações, podendo originar-se corredores Norte-Sul por onde desce o frio, até latitudes muito baixas, causando precipitações a sul do país. Pode observar-se na tabela 4.3 os valores médios de precipitação para a região do Porto/Pedras Rubras. Normalmente, fora variações devidas ao efeito orográfico, a quantidade média anual de precipitação na costa decresce de norte para sul, com valores máximos no Inverno e mínimos no Verão.

Verifica-se a existência de massas de ar marítimo e ventos de N ou NW relacionados com o anticiclone dos Açores. Associado à ocorrência de um anticiclone continental, ocorrem, também, ventos de NE ou E e ar frio (I.H. 2005).

Verifica-se a diminuição de chuvas de Norte para Sul (Ferreira, 2000), sendo a evolução das temperaturas considerada em sentido contrário à das precipitações, aumentando de Norte para Sul. No litoral verifica-se, normalmente, menor amplitude térmica do que no interior, devido à ação do Oceano Atlântico. No interior, por sua vez, existe um arrefecimento no Inverno e forte aquecimento no Verão. Temperaturas elevadas associam-se a zonas secas, enquanto menores temperaturas correspondem a zonas mais húmidas. A altitude está associada, também, a um abaixamento térmico, como é o exemplo das Penhas Douradas e Alto da Serra das Estrela, onde se registaram as temperaturas médias mais baixas do país (Ferreira, 2000).

Tabela 4.3 – Valores médios de precipitação (adaptado de I.H. 2005).

Valores médios da quantidade de precipitação (mm) - Porto/P.Rubras													
Período	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
1961-90	157	155	102	97	79	49	15	21	59	127	143	166	1167

Como se visualiza na tabela 4.4, os valores mais elevados de temperatura na região do Porto verificam-se no Verão, registando-se, assim, no Inverno, menores temperaturas.

Tabela 4.4 – Valores médios da temperatura do ar (adaptado de I.H., 2005).

Valores médios da temperatura do ar (°C) - Porto/P.Rubras (período 1961-90)								
T - temperatura média; TM - temperatura máxima; Tm - temperatura mínima								
1º trimestre								
Janeiro			Fevereiro			Março		
T	TM	Tm	T	TM	Tm	T	TM	Tm
9,4	13,6	5,2	10	14,3	5,8	11,2	16	6,5
2º trimestre								
Abril			Maio			Junho		
T	TM	Tm	T	TM	Tm	T	TM	Tm
12,6	17,2	7,9	14,6	19,1	10,1	17,3	21,9	12,7
3º trimestre								
Julho			Agosto			Setembro		
T	TM	Tm	T	TM	Tm	T	TM	Tm
19	24	14	18,7	23,9	13,6	18,2	23,3	13,1
4º trimestre								
Outubro			Novembro			Dezembro		
T	TM	Tm	T	TM	Tm	T	TM	Tm
15,8	20,5	11,1	12,1	16,6	7,8	9,9	14,1	5,8
Anual								
T			TM			Tm		
14			18,7			9,4		

Segundo o I.H. (2005) a **temperatura da água do mar** à superfície tem grande influência nas condições climáticas da costa (tabela 4.5). Os ventos dominantes na costa ocidental, aliados ao movimento de rotação da Terra, induzem uma corrente de transporte de água superficial para W e águas frias junto à costa. Assim, em épocas em que o vento sopra do N (no verão) a temperatura da água é mais baixa. A temperatura da água do mar (Inverno) aumenta de Norte para Sul, verificando-se valores médios anuais de 14,5 e 16,0°C.

Tabela 4.5 – Temperatura da água do mar à superfície – Leixões (adaptado de I.H.,2005).

Temperatura da água do mar à superfície às 09 UTC (Normal 61-90) - Leixões											
Valores médios mensais e extremos mensais e anuais (°C)											
T - temperatura média; TM - temperatura máxima; Tm - temperatura mínima											
Janeiro			Fevereiro			Março			Abril		
T	TM	Tm	T	TM	Tm	T	TM	Tm	T	TM	Tm
12,6	15,1	10,0	12,6	14,7	10,5	13,1	15,0	10,4	13,7	16,8	12,1
Maio			Junho			Julho			Agosto		
T	TM	Tm	T	TM	Tm	T	TM	Tm	T	TM	Tm
14,4	17,6	12,2	15,3	18,5	12,5	15,8	20,0	12,7	15,5	19,5	13,3
Setembro			Outubro			Novembro			Dezembro		
T	TM	Tm	T	TM	Tm	T	TM	Tm	T	TM	Tm
16,0	20,0	13,0	16,2	19,7	12,3	15,0	17,8	11,0	13,5	16,5	10,5
Ano											
T			TM			Tm					
14,5			20,0			10,0					

São registados valores de **pressão atmosférica** no intervalo de 1016 a 1020 hPa, sendo os mais altos verificados no Inverno (superiores a 1030 hPa), associados ao anticiclone continental e os mais baixos associados a depressões (inferiores a 980 hPa). Na tabela 4.6 pode observar-se os valores médios da pressão atmosférica ao nível do mar no local Porto/Pedras Rubras.

Tabela 4.6 – Valores médios da pressão atmosférica ao nível do mar (adaptado de I.H., 2005).

Valores médios da pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) - Porto/P. Rubras													
Período	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
1961-90	1020,2	1018,4	1018,5	1015,2	1015,7	1016,8	1017,3	1017,1	1017,6	1017,5	1018,9	1019,7	1017,7

4.4.3. Agitação marítima

A agitação marítima em Portugal tem características distintas na costa ocidental (da Foz do Rio Minho ao Cabo S. Vicente) e na costa sul (do cabo de Sagres à foz do Rio Guadiana).

Para caracterizar a agitação marítima, recorre-se à definição dos estados do mar, em determinado local e momento, definindo as características de onda. Recorrendo à figura 4.13, verifica-se que predominam as alturas de onda de 1m a 2m, sendo a direção dos rumos mais frequentes compreendida entre W e NW. Nesta figura visualiza-se a frequência das alturas de onda significativa, com respetivos valores relativos à boia ondógrafo em Leixões.

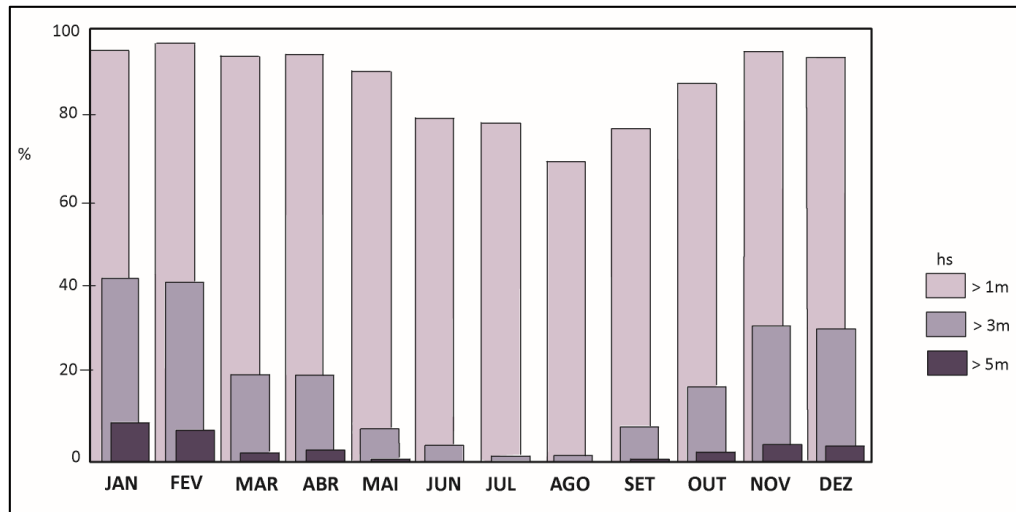


Figura 4.13 – Variação anual da distribuição da altura significativa de onda – Leixões (adaptado de I.H., 2005).

4.4.4. Batimetria

Da foz do rio Ave até à Foz do Rio Douro, consideram-se fundos geralmente sujos e uma orla costeira frequentemente rochosa. Verifica-se que a isobatimétrica dos 50m corre cerca de 5m de terra, afastando-se depois até cerca de 8m. Em toda a área de acesso aos portos de Leixões e Douro, verifica-se a existência de pedras e destroços. A zona exterior da foz do rio Douro é baixa, com existência de bancos de areia até 0,7m de terra, sendo que a sul do Cabedelo se encontram igualmente várias pedras e destroços (figura 4.14).

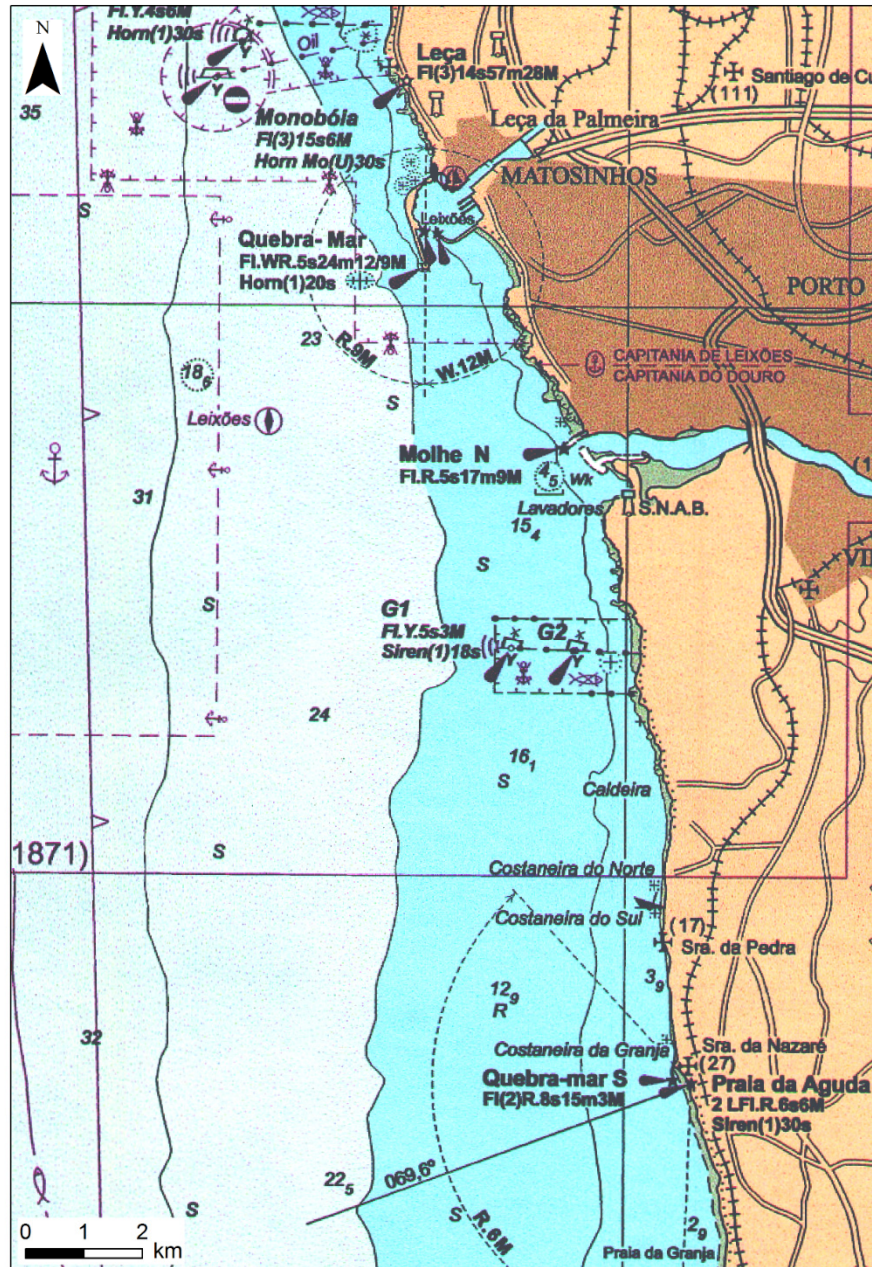


Figura 4.14 – Extrato do mapa batimétrico (I.H., 2007).

4.5. O sector costeiro de Lavadores: Breve caracterização geológica e geomorfológica

Na praia de Lavadores observa-se um afloramento granítico alongado, com orientação NW-SE, com cerca de 25km de comprimento e 4km de largura máxima (figura 4.15). O afloramento tem início no Cabedelo, estendendo-se para Sul, entrando em contacto com rochas gnáissicas (Teixeira, 1970) (figura 4.15d).

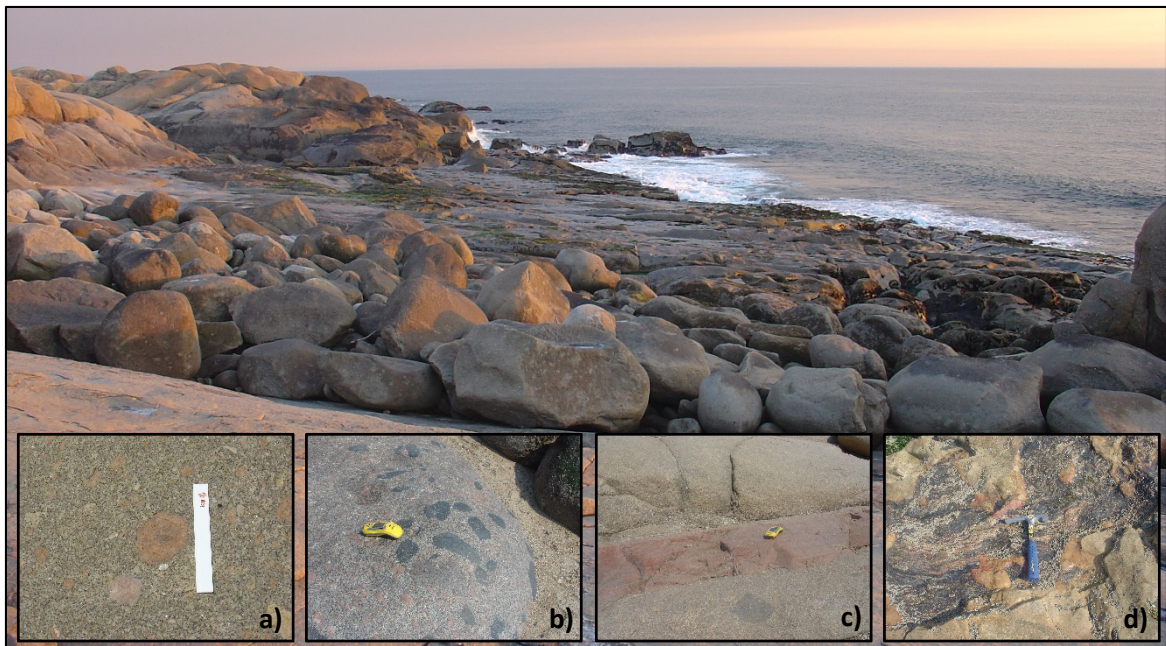


Figura 4.15 – Aspectos gerais da geologia da área de estudo a – megacristais de feldspato; b – encraves negros; c – filões róseos; d – contacto com rochas gnáissicas (Fotos A. Pires, 2010).

Destacam-se, em Lavadores, amontoados de penedos graníticos, de grandes dimensões, de forma arredondada, devido à erosão a que se encontram sujeitos. Teixeira (1970) salientou que através de observação destacam-se dois aspetos relevantes: a abundância de numerosos megacristais de feldspato (fig.4.15a) e evidentes encraves negros (fig.4.15b). De facto uma das particularidades deste granito são os megacristais, destacando-se, às vezes, inteiros. Isto deve-se ao facto de possuírem maior resistência à erosão do que o restante material envolvente. São tipicamente brancos, sendo visíveis, também, com tonalidade rósea. Em vários locais é possível observar, também, filões róseos (fig. 4.15c) a cortar o granito, de atitude horizontal ou sub-horizontal, constituídos por feldspato e quartzo. Podem observar-se, ainda, estruturas fluidais com disposição alternada de faixas escuras (biotíticas) e claras e alinhamento de megacristais.

A praia de Lavadores constitui um setor rochoso de costa “alta”, de topografia irregular e com intensa rede de fracturação a delimitar superfícies aplanadas e vertentes íngremes (Gomes & Ferreira, 1995). A interação entre vários agentes de alteração aliada ao clima da região possibilita

a origem de formas graníticas de pormenor com grande interesse, nomeadamente as marmitas litorais, blocos pedunculados, torres graníticas, caos de blocos, disjunções esferoidais, escarpas, plataformas de abrasão, tafoní e arcos de abrasão (Gomes et al., 2002).

As marmitas podem ser encontradas com diversas dimensões, isoladas ou em grupo. Têm origem no movimento dos seixos e blocos, devido à energia cinética do mar, que ali ficam aprisionados, exercendo ação abrasiva (figura 4.16).



Figura 4.16 – Marmitas litorais em Lavadores: a - alinhamento de marmitas; b - marmita isolada.

A paisagem de caos de blocos resulta do transporte e disposição dos blocos de forma desordenada, sobrepostos, por vezes, como se verifica na figura 4.17.



Figura 4.17 – Exemplos de caos de blocos na praia de Lavadores.

Em Gomes et al. (2002) é realizado um estudo multidisciplinar, tendo como base dados e características importantes sobre a geologia, geomorfologia e dinâmica costeira, de modo a sustentar o aconselhamento a diversas intervenções na área de Lavadores. Foi então proposta uma primeira abordagem para a cartografia geomorfológica costeira presente na figura 4.18, onde são identificados os elementos geomorfológicos anteriormente descritos, bem como, outros elementos cartográficos (e.g. estradas e linha de costa).

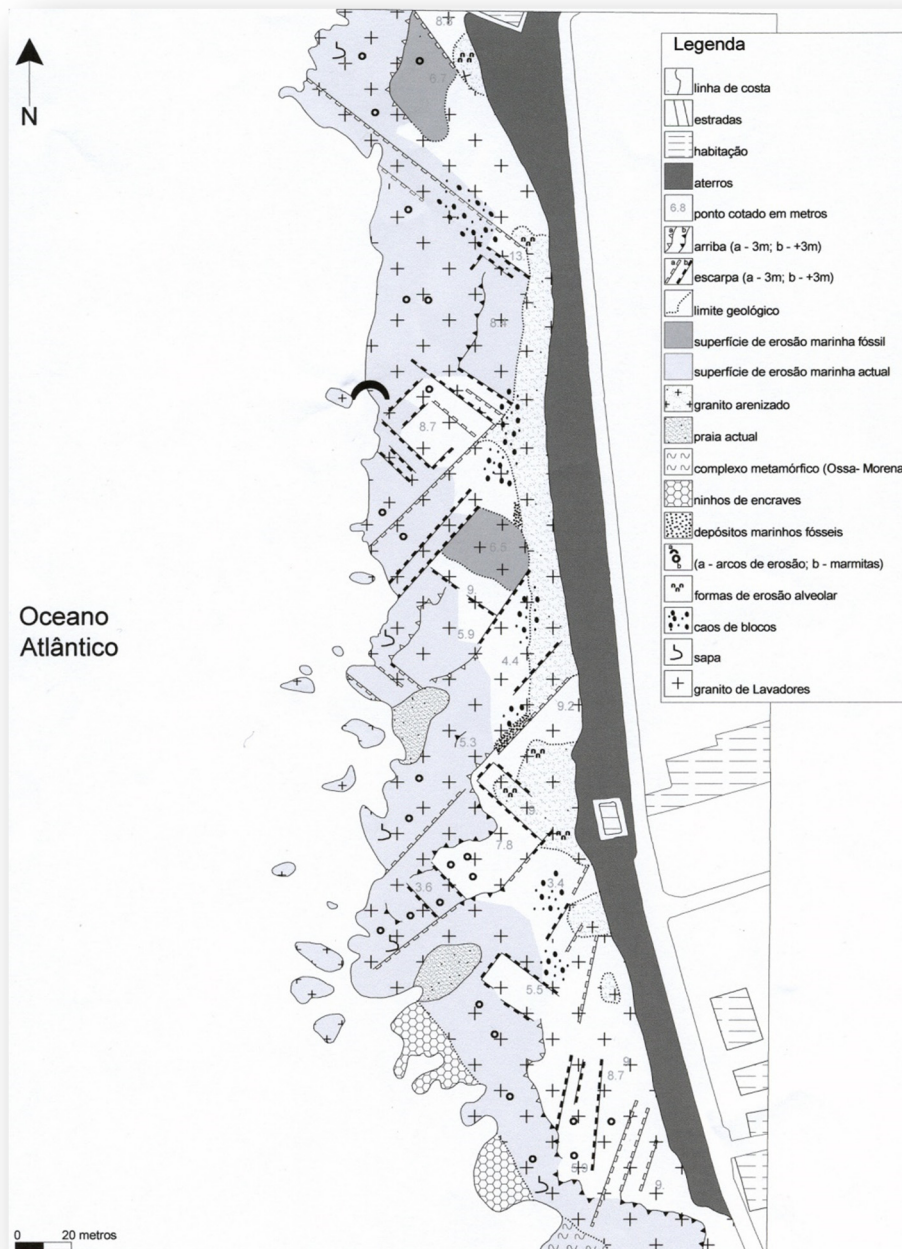


Figura 4.18 – Esboço geomorfológico da praia de Lavadores (Gomes et al., 2002).

4.6. Breve apontamento histórico

“Assim se apuram... as origens históricas de Gaia. É entanto parecer nosso que ainda há aí muito que precisar e que definir (...)” – Fortes, 1909.

De acordo com Guimarães (1995) e Ramos (2000), o Concelho de Vila Nova de Gaia constitui um território com referências históricas de grande riqueza. Na origem desta cidade estão duas povoações medievais, denominadas Gaia e Vila Nova, que se terão fundido após o fim das guerras liberais, a 20 de Junho de 1834. A par desta união verificou-se grande desenvolvimento e industrialização com o aparecimento de fábricas de cerâmica, metalurgia, tanoaria, cortiça, vidro e, ainda, expansão dos armazéns de vinho (Guimarães, 1995).

A reconhecida “Portus Cale”, por sua vez, terá origem na denominação “Cale” imposta à atual Vila Nova de Gaia, sob império romano. Sendo que a maioria da população habitaria na margem Sul do Douro, existindo uma pequena comunidade onde se situa atualmente a zona ribeirinha do Porto, “Portus Cale” seria, assim, o porto (do latim “Portus”) da cidade de Gaia (Ramos, 2000). Na figura 4.19 é possível observar uma montagem de imagens que retratam o enquadramento histórico da cidade.



Figura 4.19 – Retrato histórico da cidade de V. N. Gaia (imagens retiradas de Gaiurb, 2014 e Candal Park, 2014).

É de realçar que o crescimento populacional e económico da cidade (ainda em meados do séc. XVIII), paralelamente à construção de pontes, provocou a vinda de estrangeiros para Portugal, adquirindo imóveis e armazéns para auxiliar as operações de embarque do vinho do Douro. Verificou-se, assim, uma alteração na economia (em Gaia e Vila Nova) com a instalação da Companhia Geral da Agricultura das Vinhas do Alto Douro em Vila Nova, por ordem do Marquês de Pombal, mobilizando a chegada de muitos ingleses (Guimarães, 1995; Ramos, 2001).

Na freguesia de Canidelo, pertencente a Vila Nova de Gaia, realçam-se as praias de Lavadores e Salgueiros, em outros tempos frequentadas apenas pelos mais abastados, sendo alguns colonos ingleses que viriam posteriormente a dar nome a algumas ruas do território. O nome da antiga vila (Canidelo) terá origem no termo “cana”, diminutivo de “Cannitellu”, derivado de Cannitu, arbusto frequente nas proximidades dos rios na época. Por sua vez, de acordo com antigas lendas, Lavadores tem origem num acontecimento relacionado com um naufrágio ocorrido ao longo da costa. Os náufragos terão sido ajudados pela povoação, sendo o comandante do navio de nome Dores, este terá pedido após auxílio “Leva Dores para o barco”, nascendo, assim, o termo Lavadores (JFC, 2014).

Na figura 4.20, encontra-se uma estampa de imagens com uma evolução dos mapas históricos da área de Vila Nova de Gaia e Porto, e alguns aspetos cartográficos relevantes, como a configuração da linha de costa, da Foz do Douro e da zona do Cabedelo, mas também consegue-se perceber a progressão das cartas em termos de elementos cartográficos e do seu melhoramento de pormenor.

“Quando regresso do mar venho sempre estonteado e cheio de luz que me trespassa. Tomo então apontamentos rápidos – seis linhas – um tipo – uma paisagem. (...) Torno a ver o azul, e chega mais alto até mim o imenso eco prolongado... Basta pegar num velho búzio para se perceber distintamente a grande voz do mar. Criou-se com ele e guardou-a para sempre. – Eu também nunca mais a esqueci...”

In: Os Pescadores, Raul Brandão, 1923

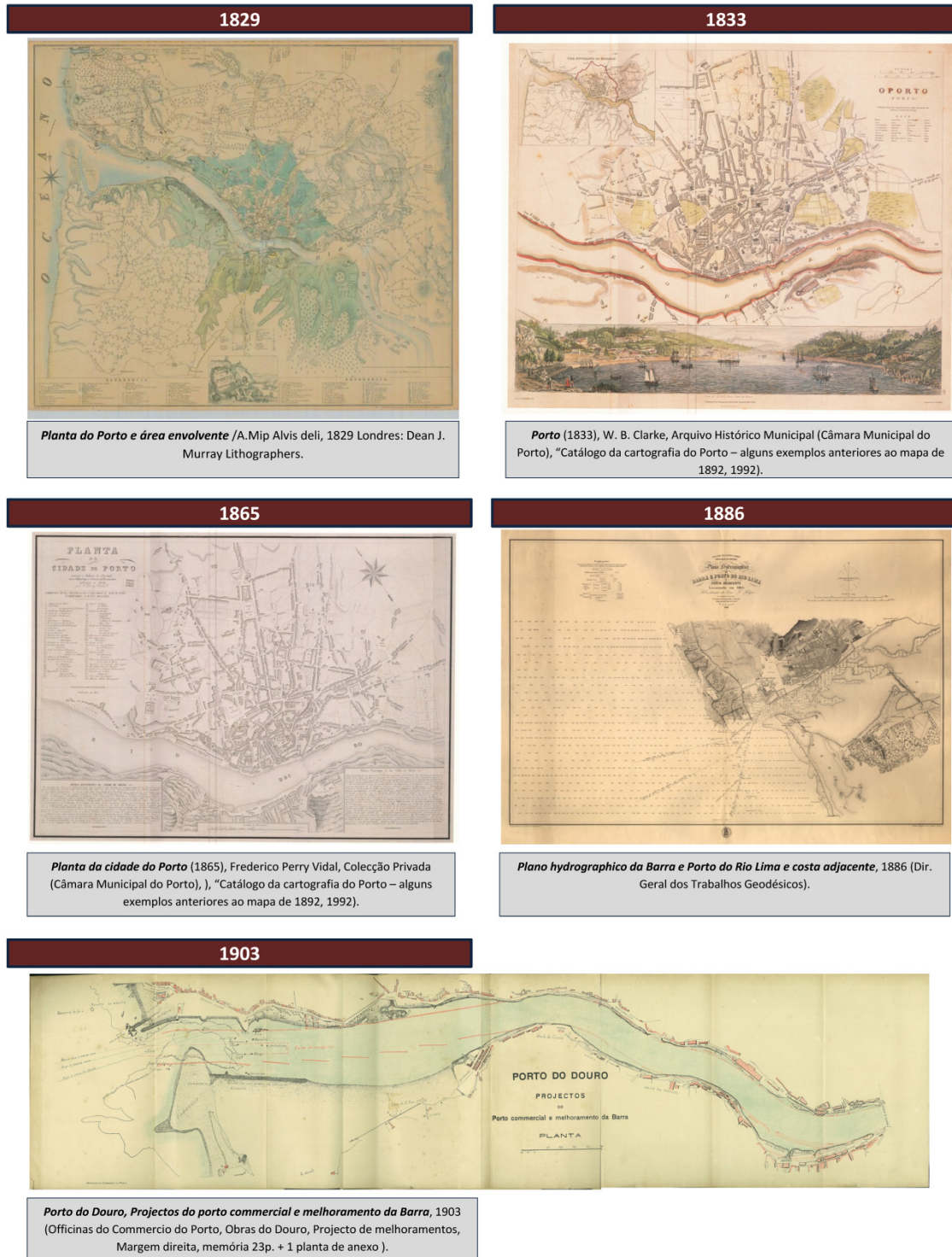
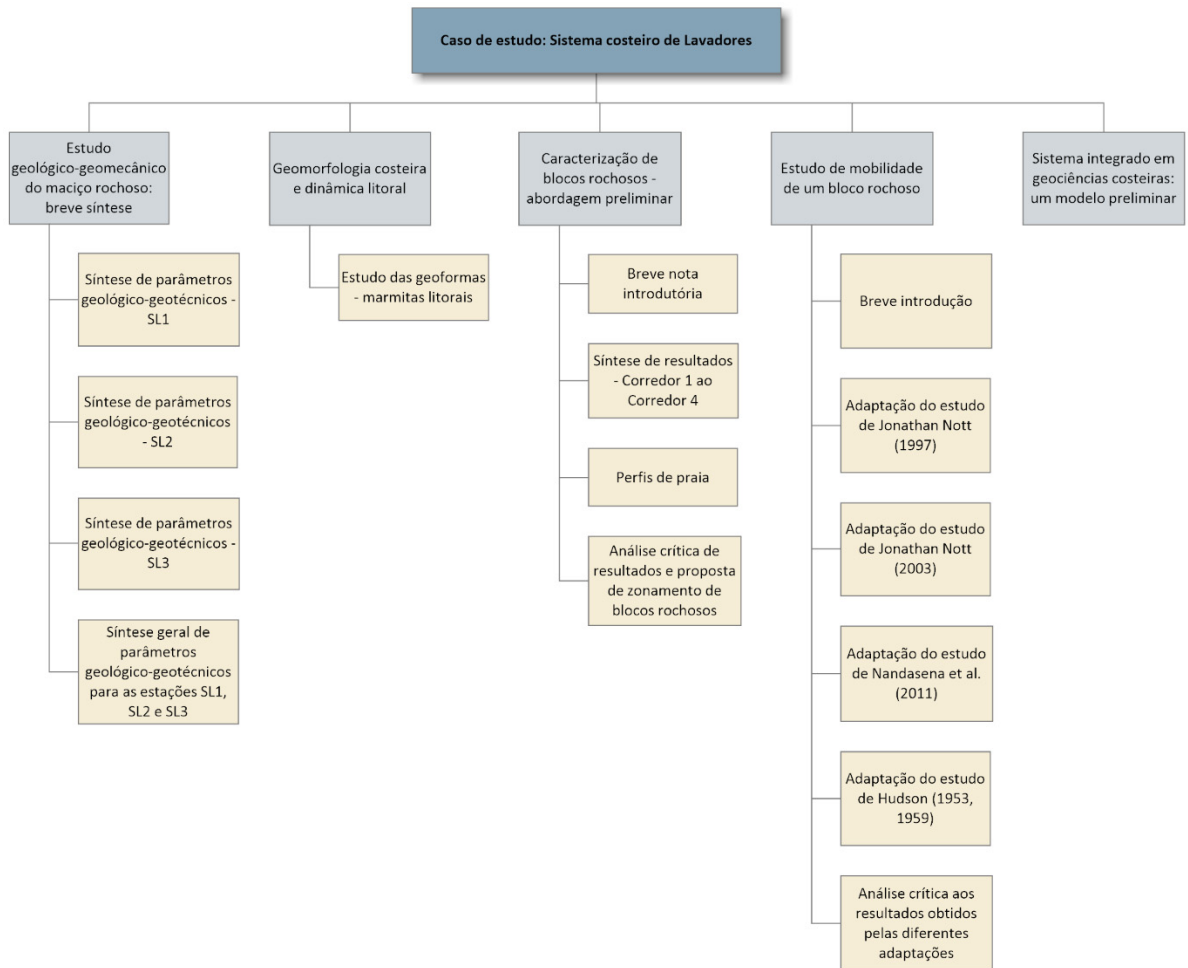


Figura 4.20 – Cartografia histórica da área de Vila Nova de Gaia e Porto (compilado de Pires, 2013).

CAPÍTULO 5

CASO DE ESTUDO: SISTEMA COSTEIRO DE LAVADORES



5. CASO DE ESTUDO: SISTEMA COSTEIRO DE LAVADORES

Neste capítulo são descritos e analisados os resultados do estudo geológico-geotécnico do maciço rochoso e essencialmente de geomorfologia costeira e dinâmica litoral.

Na geomorfologia e dinâmica litoral são também sintetizados os seguintes dados: (i) o estudo das geoformas, que se reflete no reconhecimento das marmitas litorais; e (ii) a modelação numérica e aplicação de sistemas de classificação de blocos rochosos, incidindo também na análise de mobilidade de um bloco rochoso e recorrendo a quadros-síntese para caracterização.

5.1. Estudo geológico-geomecânico do maciço rochoso: breve síntese

Tendo como base os dados e os estudos realizados em Pires (2013), foram resumidos os parâmetros geológico-geotécnicos obtidos para cada um dos perfis 1, 2 e 3 (SL1, SL2 e SL3 – “scanline”) nas discontinuidades identificadas ao longo do setor costeiro de Lavadores (figura 5.1).



Figura 5.1 – Localização dos perfis SL1 a SL3 realizados ao longo da costa rochosa de Lavadores.

5.1.1. Síntese de parâmetros geológico-geotécnicos – SL1

Grau de alteração

De acordo com a classificação da ISRM (1978, 1981), verifica-se que o grau de alteração predominante é W_{1-2} , i.e, referente a uma rocha sã a pouco alterada, representando 58,82 % da amostra total. Os restantes 41,18 % correspondem a um grau de alteração W_3 (figura 5.2).

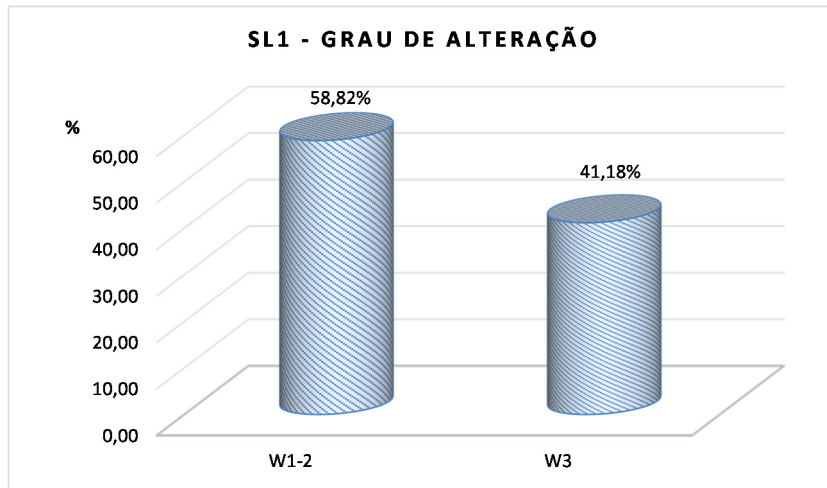


Figura 5.2 – Representação do grau de alteração para o perfil SL1 (n=17).

Estado de fracturação

Das 17 descontinuidades registadas verifica-se a predominância das diáclases, com 58,82 %, sob as falhas, com 41,18%. As principais famílias de descontinuidade observadas são: (i) N140° - 150° E, com inclinação 80° - 90° para o quadrante SW; (ii) N130° - 140° E, com inclinação 80° - 90° para o quadrante NE; e (iii) N105° - 125 E, com inclinação 40° - 60° para o quadrante SW (figura 5.3).

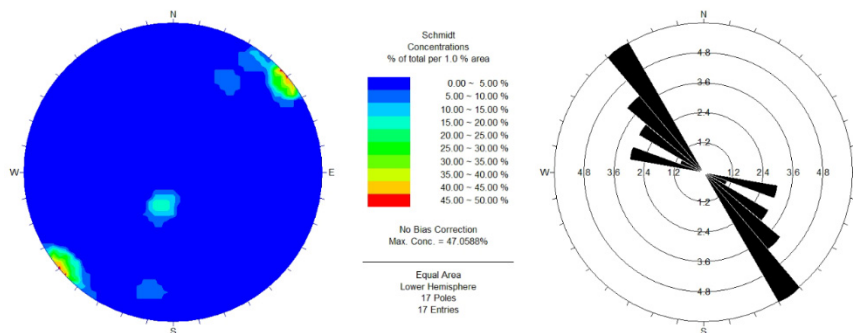


Figura 5.3 – Representação dos diagramas de contorno estrutural e de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades (n=17) para o perfil SL1.

Nas figuras 5.4 E 5.5 verifica-se que os azimutes 131-140°predominam com 35,3 % enquanto as inclinações 81-90 representam 58,8 %.

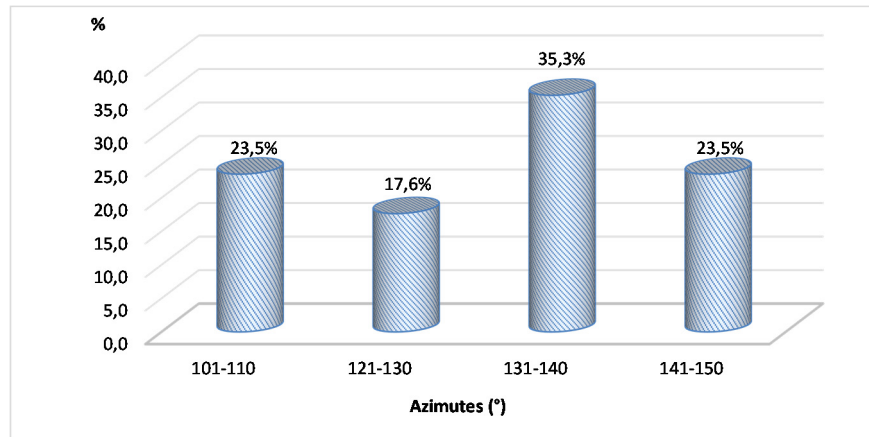


Figura 5.4 – Representação dos azimutes em percentagem (n=17).

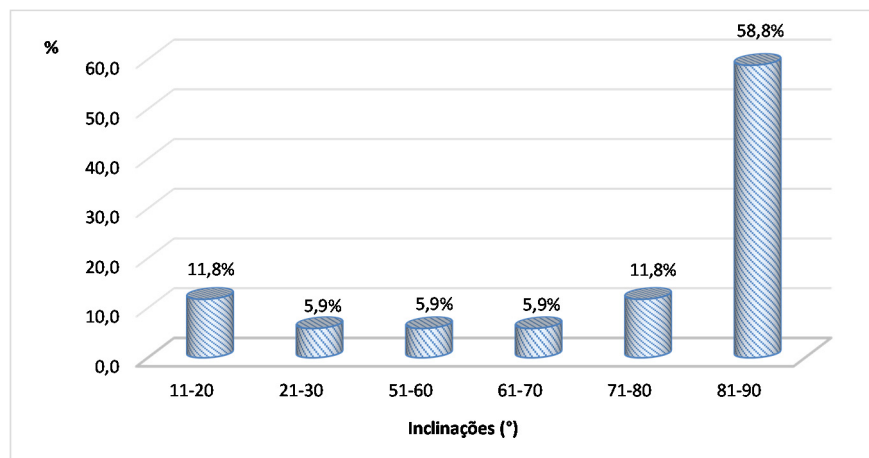


Figura 5.5 – Representação das inclinações em percentagem (n=17).

Abertura

Relativamente à abertura, as descontinuidades apresentam-se predominantemente “fechadas”, com 82,35 % e as restantes “abertas” com uma percentagem de 17,65 (figura 5.6).

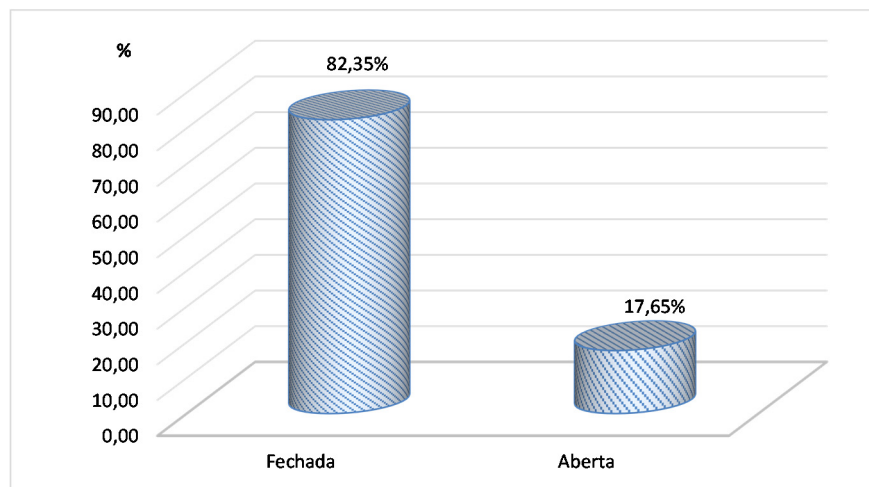


Figura 5.6 – Representação da abertura das descontinuidades em percentagem (n=17).

Espaçamento

O espaçamento é maioritariamente F_{1-2} , sendo as descontinuidades afastadas com 82,35 %. São verificados, ainda, espaçamentos medianamente afastados (5,88%) e próximos (com 11,76%) (figura 5.7).

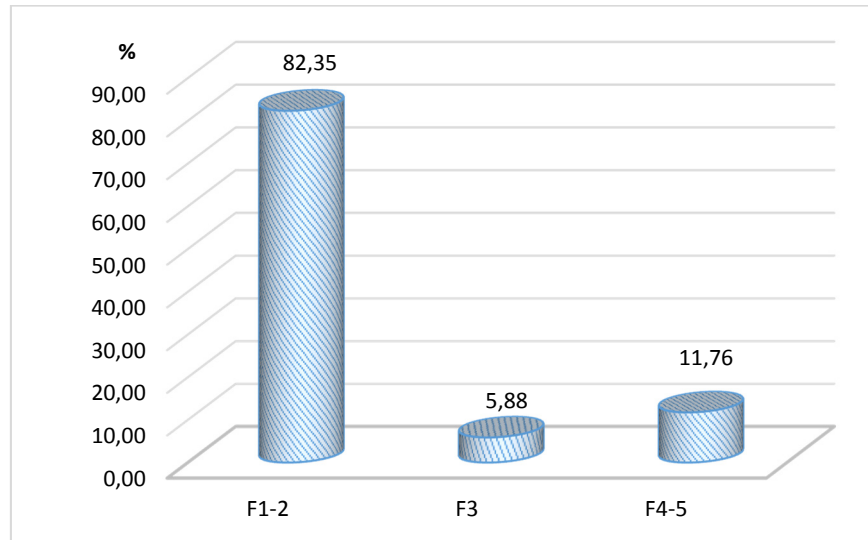


Figura 5.7 – Representação do espaçamento das descontinuidades em percentagem (n=17).

Continuidade

Com igual percentagem (29,41%), verifica-se que as descontinuidades são, maioritariamente, muito pouco contínuas (comprimento inferior a 1 metro) e pouco contínuas (comprimento 1m a 3m) (figura 5.8).

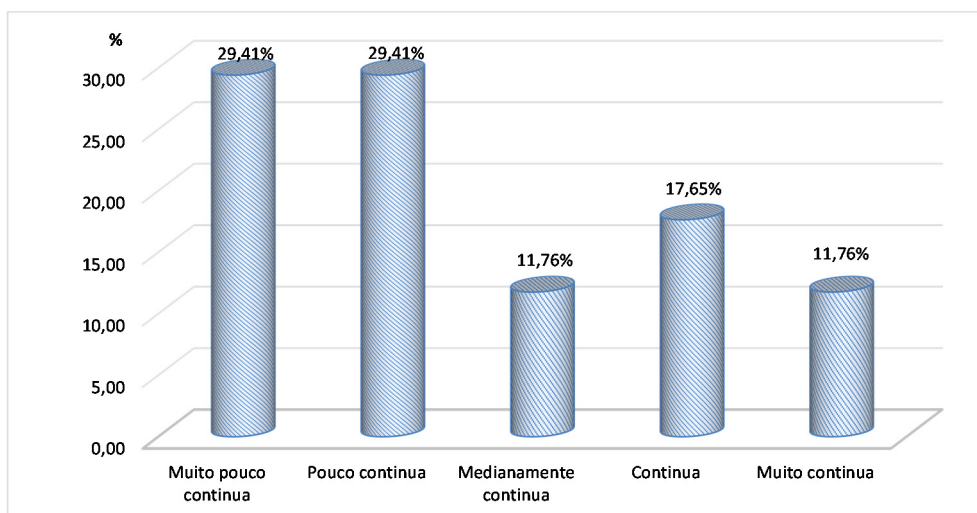


Figura 5.8 – Representação da continuidade (n=17).

Terminação

A terminação “obscura” é a que apresenta mais elevada percentagem, com 41,18% da totalidade da amostra. Por sua vez, segue-se a terminação “descontinuidade” com 35,29% e “rocha” com 23,53% (figura 5.9).

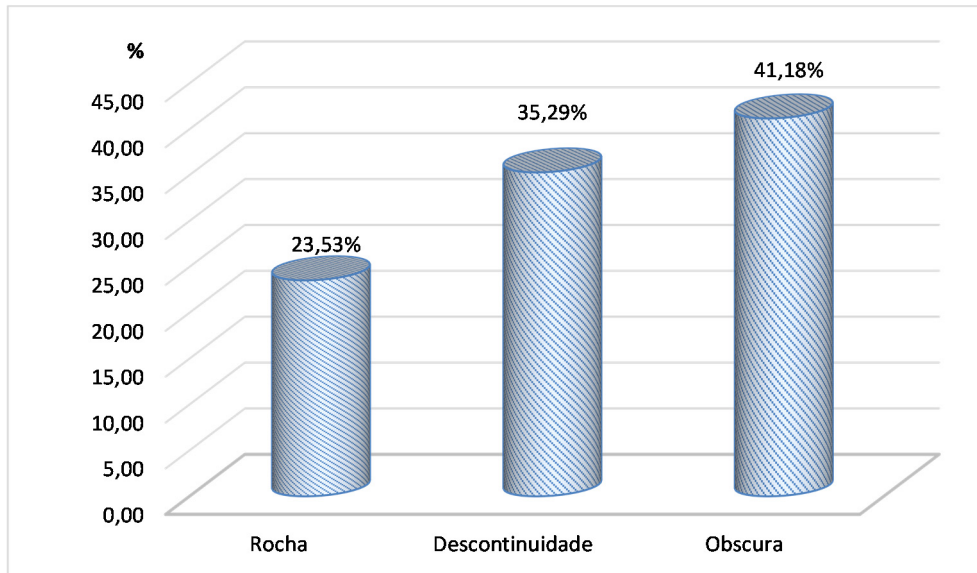


Figura 5.9 – Representação da terminação (n=17).

Curvatura

Relativamente à curvatura, esta é na sua maioria do tipo C₁₋₂ (64,71%), isto é, corresponde a descontinuidades planas a algo curvas, não sendo de desprezar a percentagem de descontinuidades algo curvas (C₃), com 29,41% (figura 5.10).

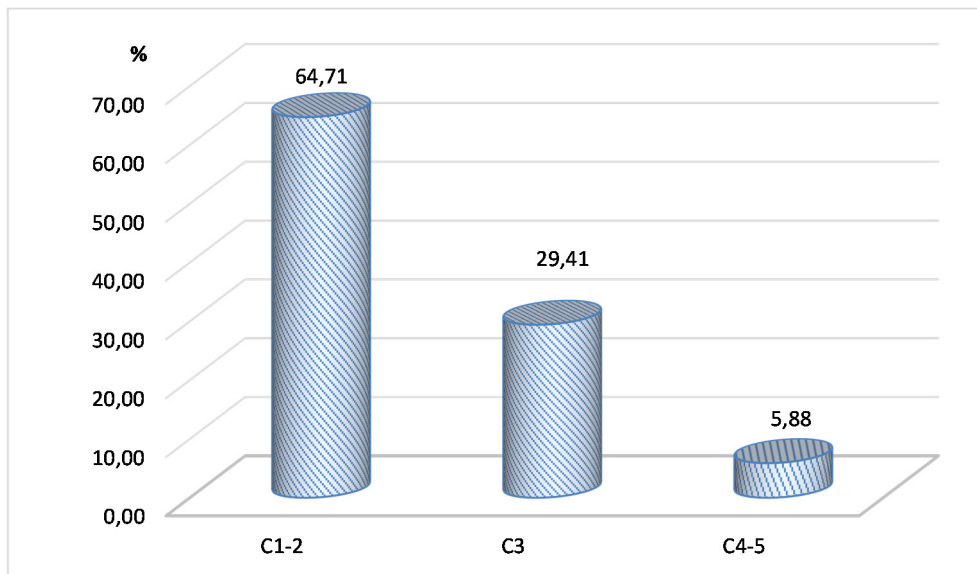


Figura 5.10 – Representação da curvatura (n=17).

Rugosidade

No que diz respeito à rugosidade as discontinuidades são predominantemente lisas a algo rugosas (R_{1-2}), e algo rugosas (R_3), com 47,06 % e 41,18% respetivamente (figura 5.11).

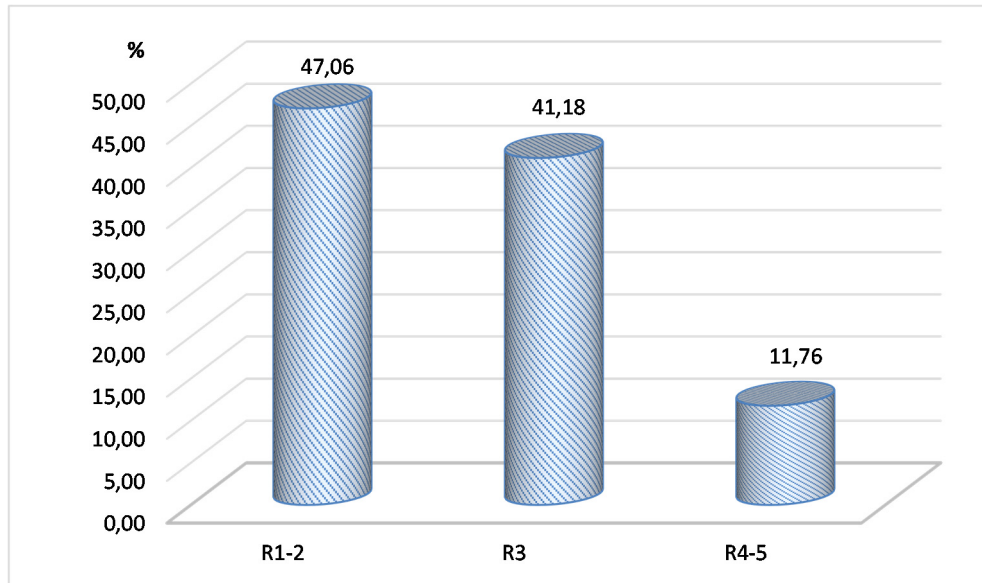


Figura 5.11 – Representação da rugosidade.

Enchimento

No que diz respeito ao tipo de enchimento verifica-se que é inexistente em 94,12% das discontinuidades, apresentando em algumas, vegetação (figura 5.12).

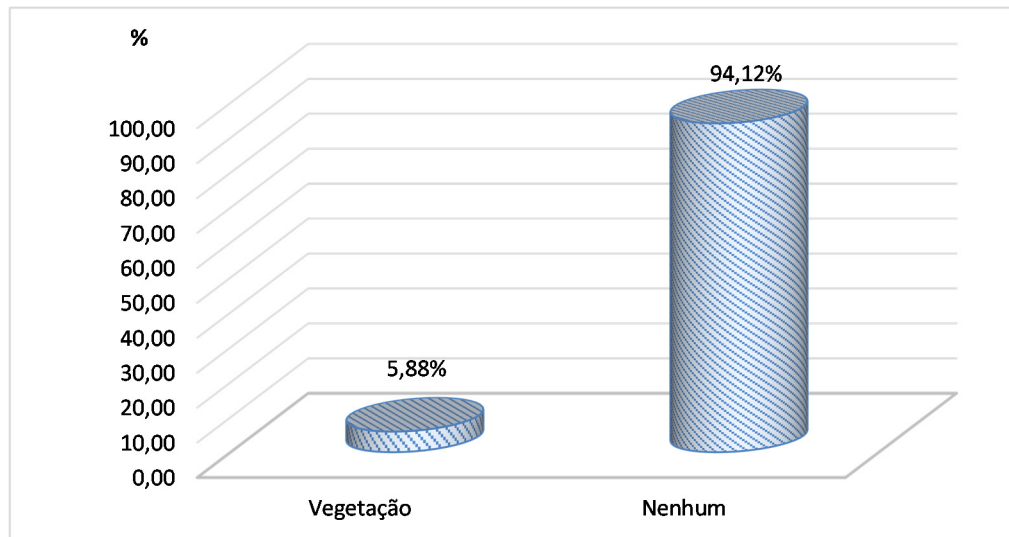


Figura 5.12 – Representação do tipo de enchimento.

Presença de água

Verifica-se a inexistência de água na totalidade das discontinuidades analisadas.

Resistência à compressão uniaxial simples

Verifica-se a predominância da resistência elevada (S_2) com 62,5 %, seguida da resistência muito elevada (S_1) com 12,5 % (figura 5.13).

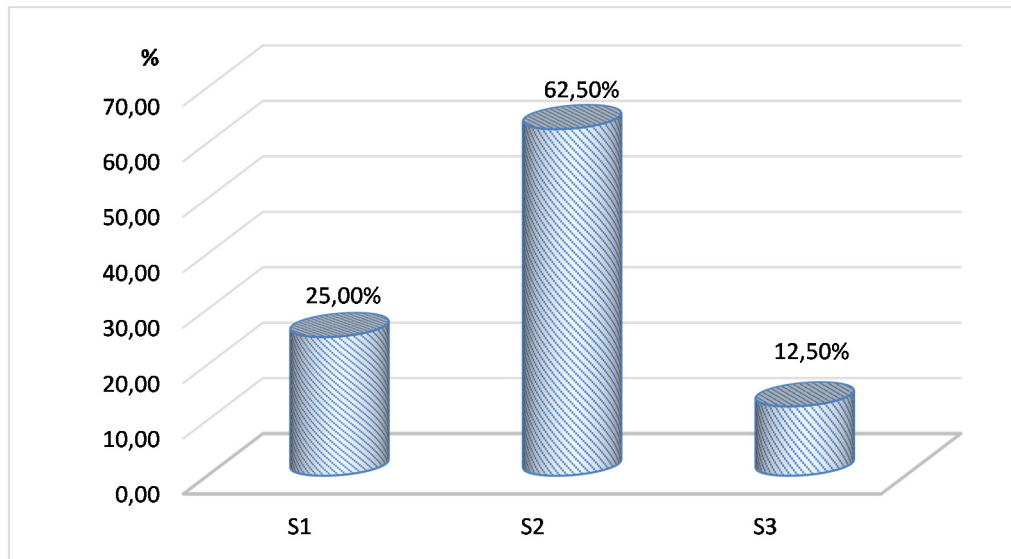


Figura 5.13 – Representação da resistência à compressão uniaxial.

Apresenta-se na tabela 5.1, uma síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos obtidos para o perfil SL1.

Tabela 5.1 - Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos do perfil SL1.

Parâmetro		SL1		
Grau de alteração	W ₁₂ (sã a ligeiramente alterada)	W ₃ (medianamente alterada)	W ₄₅ (muito alterada)	
	58,82%	41,18%	-	
Estado de fracturação				
Tipo de continuidade		Diaclase		
		58,82%		
Abertura	Falha			
	41,18%			
Espaçamento	Fechada	Aberta		
	82,35%	17,64%		
Continuidade	F ₁₂ - muito afastadas a afastadas	F ₃ - medianamente afastadas		
	82,35%	5,88%		
Terminação	Muito pouco continua	Pouco continua	Mediana/ continua	Muito continua
	29,41	29,41	11,76	17,64
Curvatura	Rocha	Descontinuidade		
	23,53%	35,29%		
Rugosidade	C ₁₂ - planas a ligeiramente curvas	C ₃ - curvas		
	67,71%	29,41%		
Enchimento	R ₁₂ - lisa a algo rugosa	R ₃ - rugosa		
	47,06%	41,18%		
Resistência à compressão simples	Rocha/rocha esmagada	Vegetação		
	-	5,88%		
Resistência à compressão simples	S ₁ - muito elevada (>200 MPa)	S ₂ - elevada (60-200 MPa)		
	25,00%	62,50%		
				S ₃ - média (20-60 MPa)
				12,50%

5.1.2. Síntese de parâmetros geológico-geotécnicos – SL2

Grau de alteração

Verifica-se que o grau de alteração é W_{1-2} na totalidade da amostra ($n=13$), i.e, referente a uma rocha sã a pouco alterada.

Estado de fracturação

Das 13 descontinuidades registadas verifica-se a predominância das falhas, com 61,54 %, sob as diáclases, com 38,46%. As principais famílias de descontinuidade observadas são: (i) $N40^\circ - 50^\circ E$, com inclinação $80^\circ - 90^\circ$ para o quadrante NW; (ii) $N20^\circ - 30^\circ E$, com inclinação $75^\circ - 85^\circ$ para o quadrante SE; e (iii) $N110^\circ - 120^\circ E$, com inclinação $80^\circ - 90^\circ$ para o quadrante SW (figura 5.14).

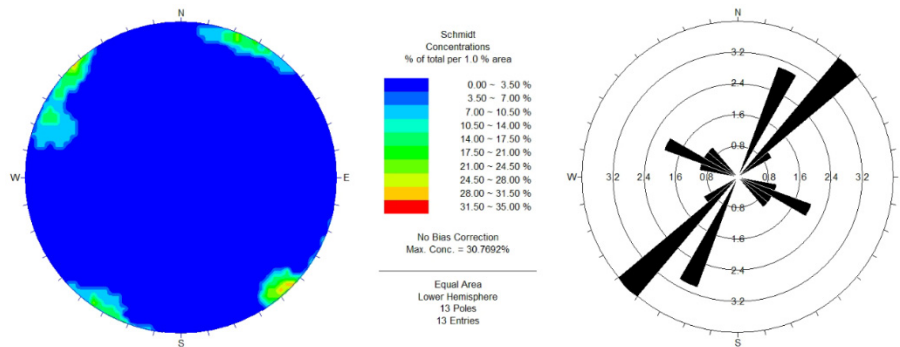


Figura 5.14 – Representação dos diagramas de contorno estrutural e de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades ($n=13$) para o SL2.

Nas figuras 5.15 e 5.16, verifica-se que os azimutes $41^\circ - 50^\circ$ predominam com 35,3 % enquanto as inclinações $81^\circ - 90^\circ$ representam 58,8 %.

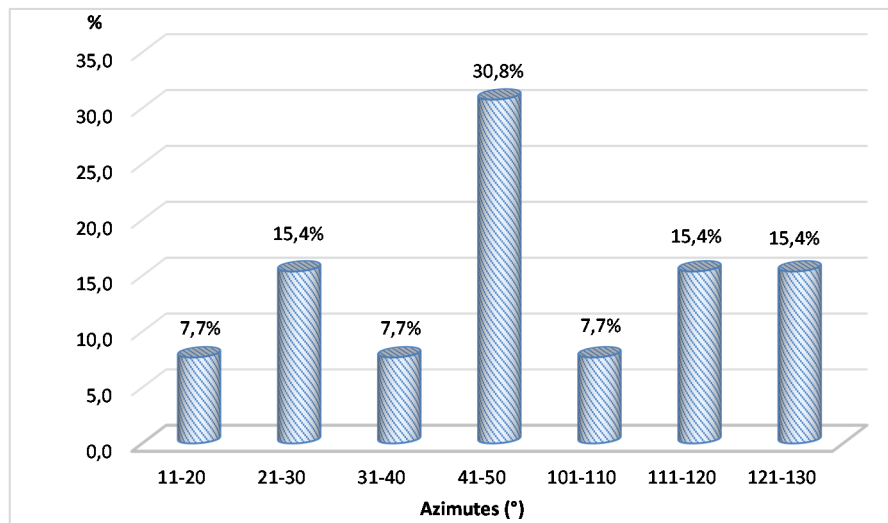


Figura 5.15 – Representação dos azimutes para o perfil SL2 em percentagem ($n=13$).

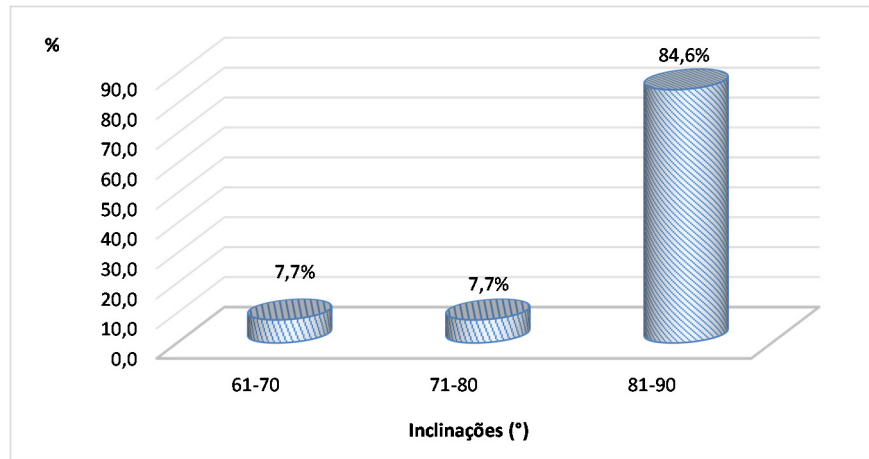


Figura 5.16 – Representação das inclinações para o perfil SL2 em percentagem (n=13).

Abertura

Relativamente à abertura, as descontinuidades apresentam-se predominantemente “fechadas”, com 84,62 % e as restantes “abertas” com uma percentagem de 15,38% (figura 5.17).

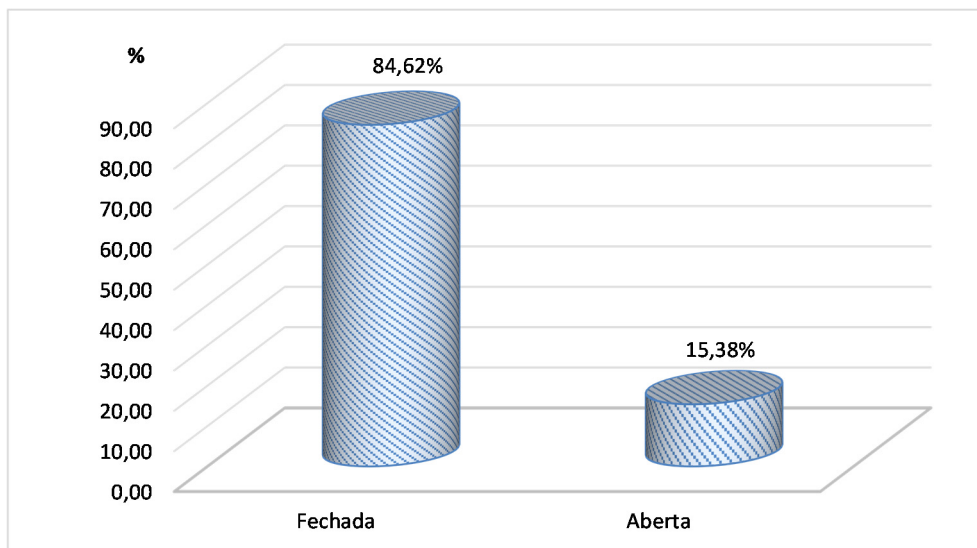


Figura 5.17 – Representação da abertura das descontinuidades em percentagem (n=13).

Espaçamento

O espaçamento é maioritariamente F_{1-2} , sendo as descontinuidades afastadas com 82,35 %. São verificados, ainda, espaçamentos medianamente afastados (5,88%) e próximos (com 11,76%) (figura 5.18).

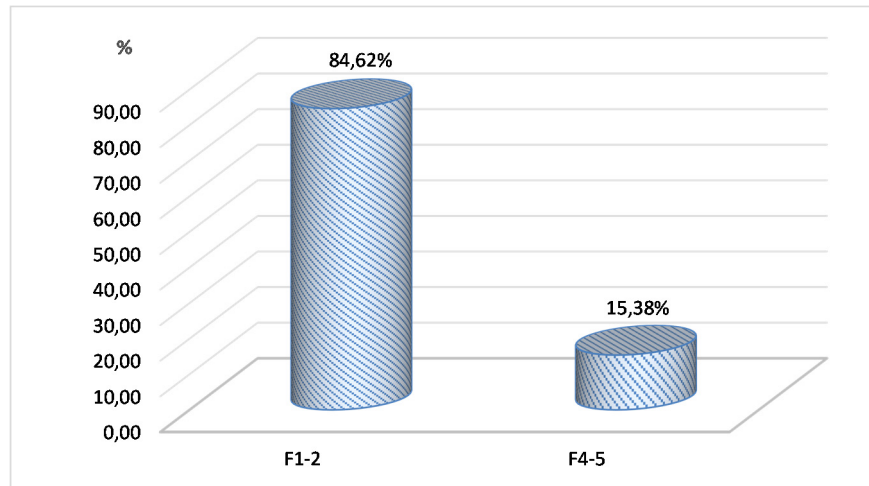


Figura 5.18 – Representação do espaçamento das descontinuidades do perfil SL2 em percentagem (n=13).

Continuidade

Com igual percentagem (46,15%), verifica-se que as descontinuidades são, maioritariamente, medianamente contínuas (de 3 a 10m) e contínuas (de 10 a 20m), como evidencia a figura 5.19.

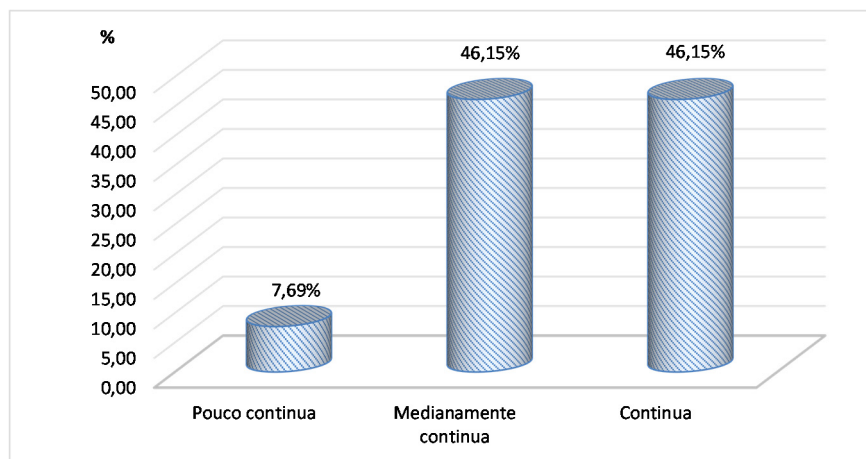


Figura 5.19 – Representação da continuidade para o perfil SL2 (n=13).

Terminação

A terminação “obscura” é a que apresenta mais elevada percentagem, com 61,54% da totalidade da amostra. Por sua vez, segue-se a terminação “descontinuidade” com 30,77% e “rocha” com 7,69% (figura 5.20).

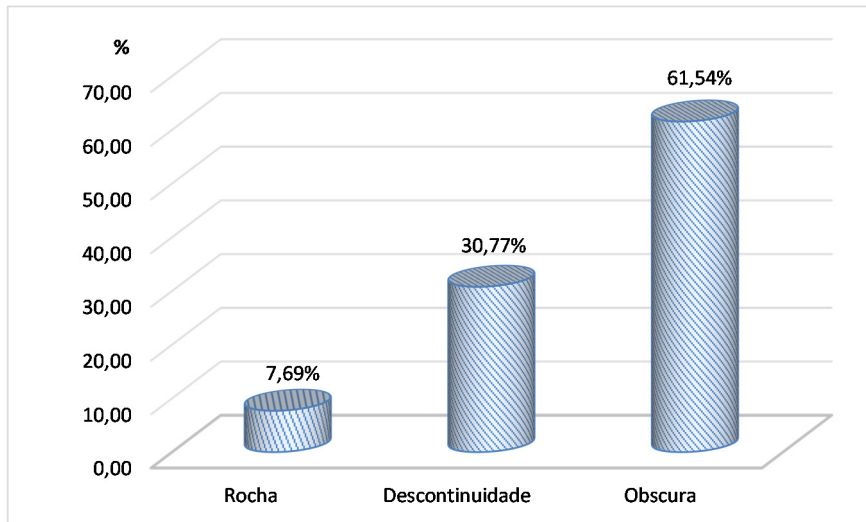


Figura 5.20 – Representação da terminação para o perfil SL2 (n=13).

Curvatura

Relativamente à curvatura, esta é na sua maioria do tipo C₃, isto é, corresponde a descontinuidades algo curvas (69,23%), não sendo de desprezar a percentagem de descontinuidades planas a algo curvas, (C₁₂), com 30,77% (figura 5.21).

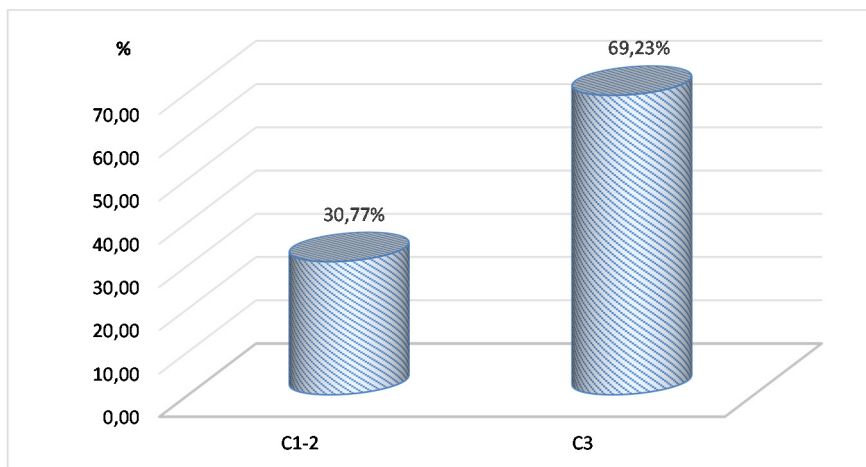


Figura 5.21 – Representação da curvatura para perfil SL2 (n=13).

Rugosidade

No que diz respeito à rugosidade, as descontinuidades são predominantemente algo rugosas (R₃), com 69,23 % e muito rugosas (R₄₅) com 30,77%, respetivamente (figura 5.22).

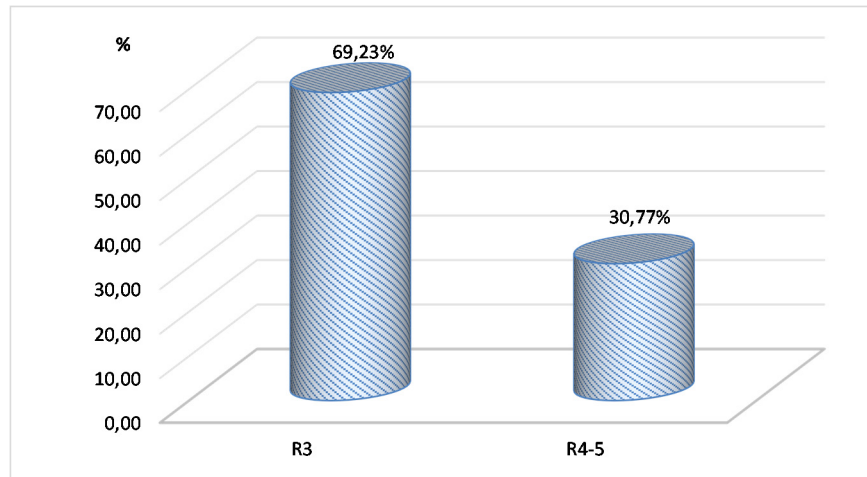


Figura 5.22 – Representação da rugosidade (n=13).

Enchimento

No que diz respeito ao tipo de enchimento, verifica-se que é inexistente em 100% da amostra.

Presença de água

A maioria das descontinuidades (76,92%) classificam-se como “secas” e as restantes (23,08%), são ligeiramente húmidas a húmidas.

Resistência à compressão uniaxial simples

Observa-se que a totalidade das descontinuidades são de resistência elevada (S_2).

Na tabela 5.2, apresenta-se uma síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos obtidos para o perfil SL2.

Tabela 5.2 – Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos do perfil SL2

Parâmetro		SL2			
Grau de alteração	W ₁₂ (sã a ligeiramente alterada)	W ₃ (medianamente alterada)		W ₄₅ (muito alterada)	
	100,00%				
Estado de fracturação					
Tipo descontinuidade					
		Falha		Diaclase	
		61,54%		38,46%	
Abertura	Fechada	Aberta		Muito aberta	
	84,61%	15,38%		-	
Espaçamento	F ₁₂ - muito afastadas a afastadas	F ₃ - medianamente afastadas		F ₄₅ - próximas a muito próximas	
	84,62%	-		15,38%	
Continuidade	Muito pouco continua	Pouco continua	Mediana/ continua	Continua	Muito continua
	-	7,69	46,15	46,15	-
Terminação	Rocha	Descontinuidade			
	7,69%	30,77%			
Curvatura	C ₁₂ - planas a ligeiramente curvas	C ₃ - curvas		C ₄₅ - muito curvas	
	30,77%	69,23%		-	
Rugosidade	R ₁₂ - lisa a algo rugosa	R ₃ - rugosa		R ₄₅ - muito rugosa	
	-	69,23%		30,77%	
Enchimento	Rocha/rocha esmagada	Vegetação			
	-	-			
Resistência à compressão simples	S ₁ - muito elevada (>200 MPa)	S ₂ - elevada (60-200 MPa)		S ₃ - média (20-60 MPa)	
	100,00%	-		-	

5.1.3. Síntese de parâmetros geológico-geotécnicos – SL3

Grau de alteração

Constatou-se que o grau de alteração da totalidade da amostra é W_{1-2} , i.e, referente a uma rocha sã a pouco alterada.

Estado de fracturação

Das 21 descontinuidades registadas verifica-se a predominância das diáclases, com 66,67 %, sob as falhas, com 33,33%. As principais famílias de descontinuidade observadas são: (i) $N120^\circ - 140^\circ E$, com inclinação $75^\circ - 85^\circ$ para o quadrante SW; (ii) $N100^\circ - 120^\circ E$, com inclinação $40^\circ - 60^\circ$ para o quadrante SW; e (iii) $N30^\circ - 40^\circ E$, com inclinação $70^\circ - 90^\circ$ para o quadrante SE (figura 5.23).

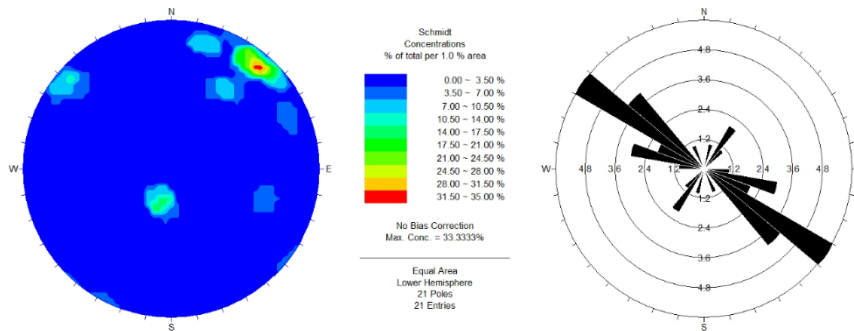


Figura 5.23 – Representação dos diagramas de contorno estrutural e de rosetas relativos ao tratamento estatístico das descontinuidades ($n=21$) para o perfil SL3.

Nas figuras 5.24 e 5.25, verifica-se que os azimutes $121^\circ-130^\circ$ e $131^\circ-140^\circ$, com 23,8% e 19% respetivamente. Relativamente às inclinações, a predominante é $71^\circ-80^\circ$ com 42,9%.

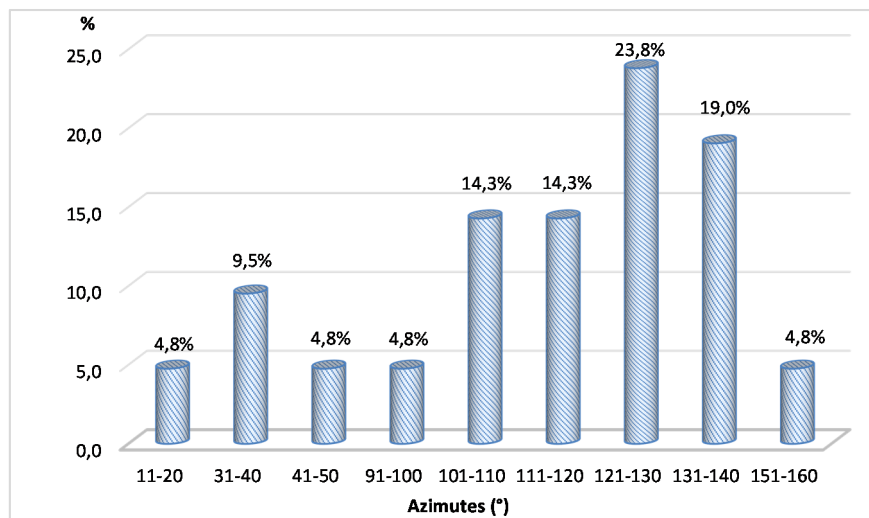


Figura 5.24 – Representação dos azimutes em percentagem ($n=21$).

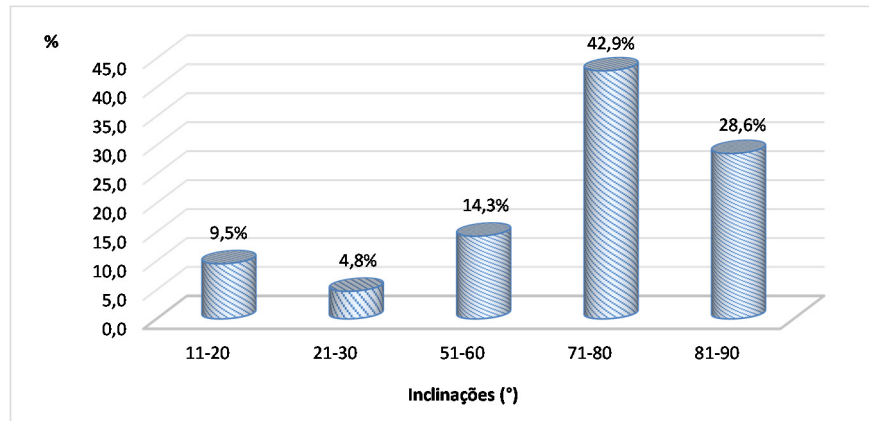


Figura 5.25 – Representação das inclinações em percentagem (n=21).

Abertura

Relativamente à abertura, as descontinuidades apresentam-se predominantemente “fechadas”, com 71,43% e as restantes “abertas” com uma percentagem de 23,81% e muito aberta com 4,76% (figura 5.26).

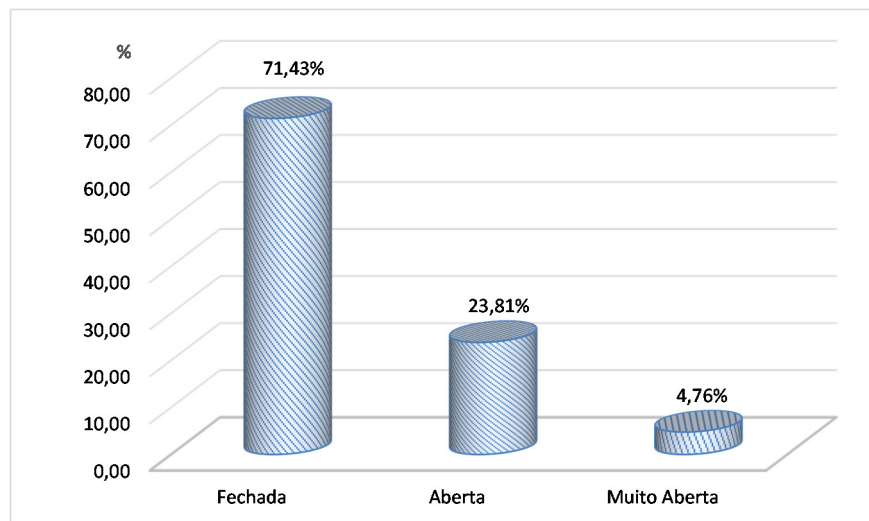


Figura 5.26 – Representação da abertura das descontinuidades em percentagem (n=21).

Espaçamento

O espaçamento é maioritariamente F_{1-2} , sendo as descontinuidades afastadas com 80,95%. São verificados, ainda, espaçamentos medianamente afastados (4,86%) e próximos (com 14,29%) (figura 5.27).

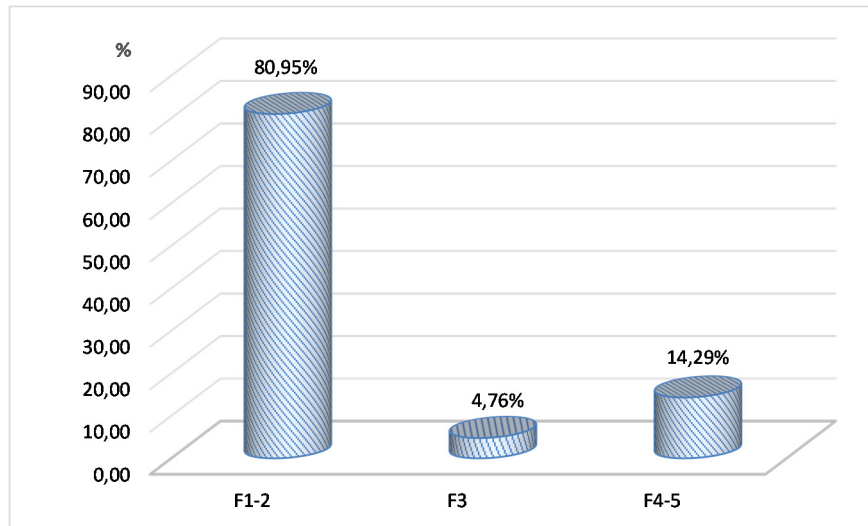


Figura 5.27 – Representação do espaçamento das descontinuidades em percentagem (n=21).

Continuidade

Com 57,14%, verifica-se que as descontinuidades são, maioritariamente, medianamente contínuas (comprimento de 3 a 10 metros) e pouco contínuas (comprimento 1m a 3m), com 28,57% (figura 5.28).

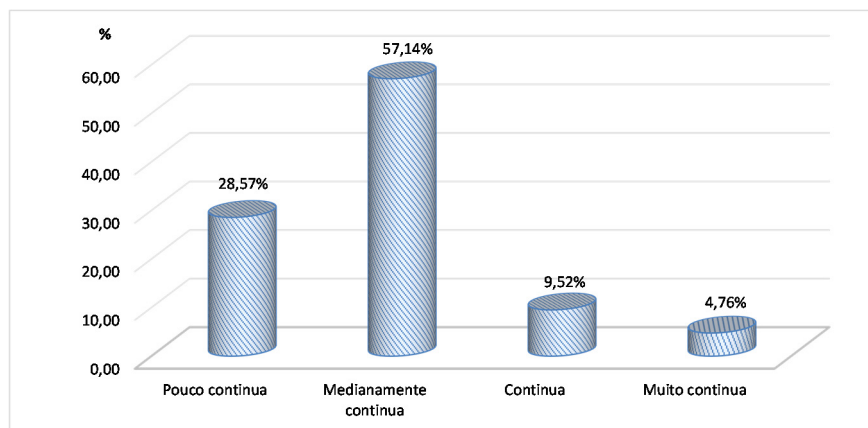


Figura 5.28 – Representação da continuidade (n=21).

Terminação

A terminação “obscura” é a que apresenta mais elevada percentagem, com 57,14% da totalidade da amostra. Por sua vez, segue-se a terminação “descontinuidade” com 28,57% e “rocha” com 14,29% (figura 5.29).

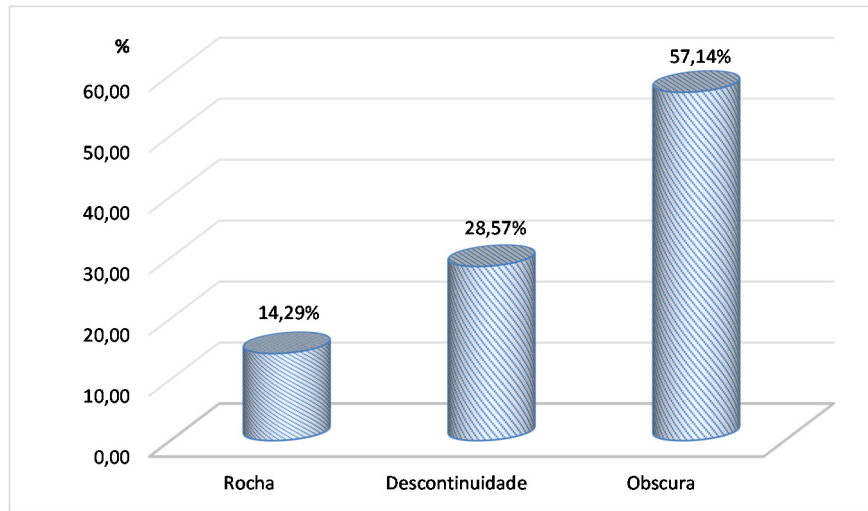


Figura 5.29 – Representação da terminação (n=21).

Curvatura

Relativamente à curvatura, esta é na sua maioria do tipo C₁₋₂ (42,86%), isto é, corresponde a descontinuidades planas a algo curvas, não sendo de desprezar a percentagem de descontinuidades algo curvas (C₃) e muito curvas (C₄₅), com 29,41% (figura 5.30).

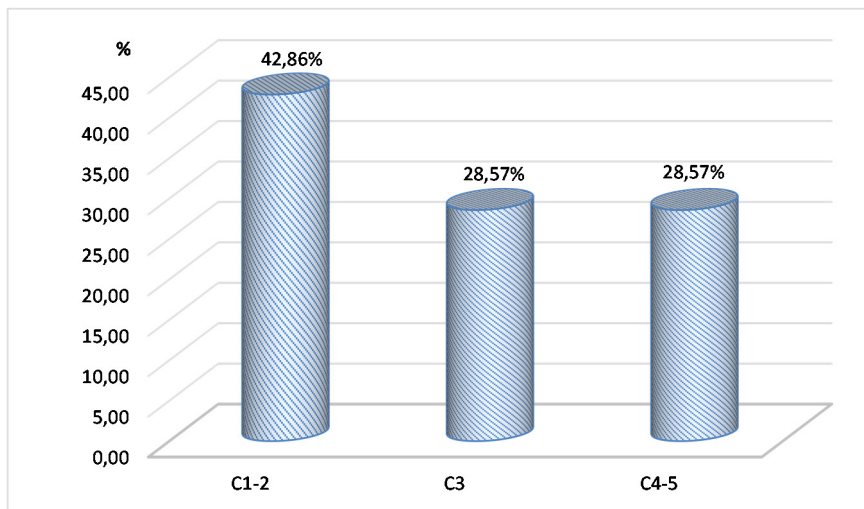


Figura 5.30 – Representação da curvatura (n=21).

Rugosidade

No que diz respeito à rugosidade, as descontinuidades são, predominantemente algo rugosas (R₃), com 57,14 % e lisas a algo rugosas (R₁₂) com 23,81% (figura 5.31).

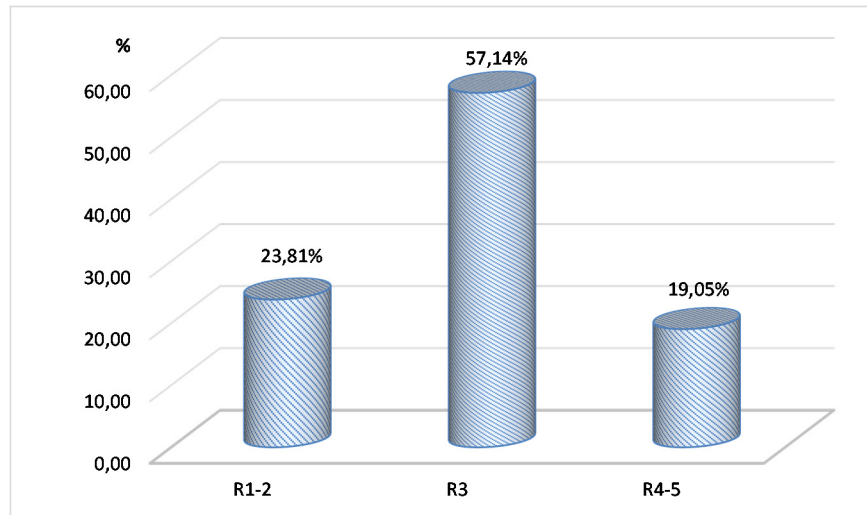


Figura 5.31 – Representação da rugosidade.

Enchimento

No que diz respeito ao tipo de enchimento, verifica-se que é inexistente na totalidade da amostra.

Presença de água

As descontinuidades encontram-se predominantemente secas (57,14%) e ligeiramente húmidas a húmidas (42,86%) (figura 5.32).

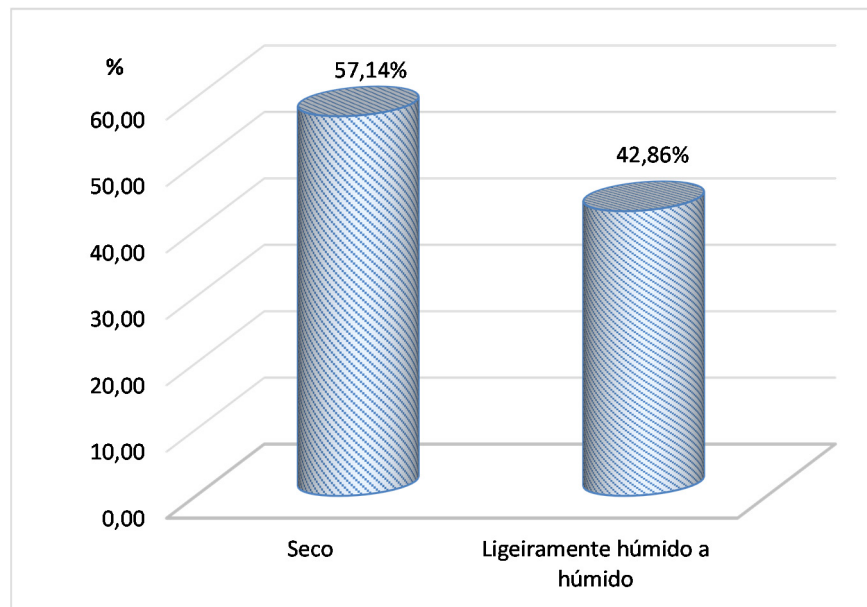


Figura 5.32 – Representação da presença de água (n=21)

Resistência à compressão uniaxial simples

Verifica-se a predominância da resistência elevada (S_2), com 45,45%, seguida da resistência muito elevada (S_1) com 36,36% (figura 5.33).

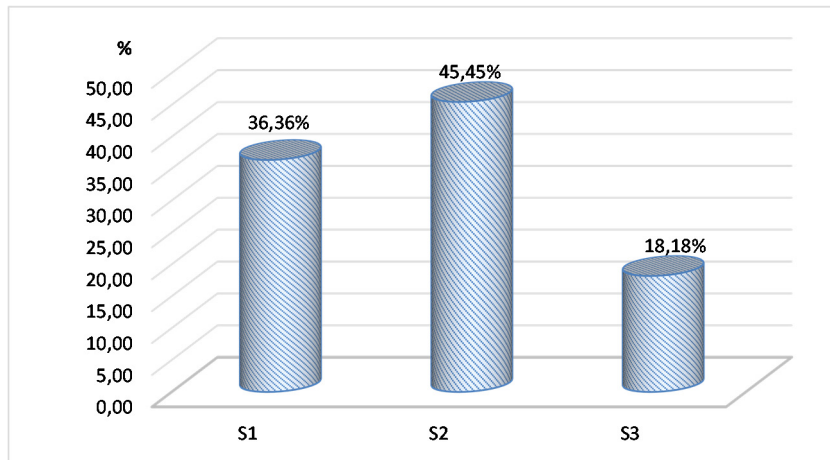


Figura 5.33 – Representação da resistência à compressão uniaxial simples em percentagem ($n=21$).

Na tabela 5.3, observa-se uma síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos referentes ao perfil SL3.

Tabela 5.3 – Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos do perfil SL3.

SL3			
Parâmetro	W ₁₂ (sã a ligeiramente alterada)	W ₃ (medianamente alterada)	W ₄₅ (muito alterada)
	100,00%	-	-
Estado de fraturação	Falha		
Tipo descontinuidade	33,33%		
Abertura	Fechada	Aberta	Muito aberta
	71,43%	23,81%	4,76%
Espaçamento	F ₁₂ - muito afastadas a afastadas	F ₃ - medianamente afastadas	F ₄₅ - próximas a muito próximas
	80,95%	4,76%	14,28%
Continuidade	Muito pouco continua	Pouco continua	Continua
	-	28,57	9,52
Terminação	Rocha		
	Descontinuidade		
Curvatura	Rocha		
	Obscura		
Rugosidade	C ₁₂ - planas a ligeiramente curvas	C ₃ - curvas	C ₄₅ - muito curvas
	42,86%	28,57%	28,57%
Enchimento	R ₁₂ - lisa a algo rugosa	R ₃ - rugosa	R ₄₅ - muito rugosa
	23,81%	57,14%	19,05%
Resistência à compressão simples	Rocha/rocha esmagada		
	Vegetação		
Resistência à compressão simples	S ₁ - muito elevada (>200 MPa)	S ₂ - elevada (60-200 MPa)	S ₃ - média (20-60 MPa)
	36,36%	45,45%	18,18%

5.1.4. Síntese de parâmetros geológico-geotécnicos SL1, SL2 e SL3

Na tabela 5.4, encontra-se um resumo global dos parâmetros geológico-geotécnicos para os perfis SL1 a SL3, após realização do tratamento de dados estatisticamente.

De um modo geral verifica-se que: (i) o grau de alteração que predomina é o W_{12} , sendo uma rocha sã a pouco alterada; (ii) as diáclases são o tipo de descontinuidade em maior número, constituindo 56,86 % das mesmas; (iii) a abertura das descontinuidades é maioritariamente “fechada” (78,43%) encontrando-se, ainda, descontinuidades classificadas como “abertas” (19,61%) e muito abertas (1,96%); (iv) o espaçamento F_{12} é predominante, com uma representação de 82,35 %; (v) a terminação é maioritariamente obscura (52,94%); (vi) a curvatura em maior número é a C_{12} , planas a ligeiramente curvas, com uma representação de 47,06%; (vii) a rugosidade R_3 , rugosas, representa 54,90% da totalidade; (viii) a ausência de enchimento é notável, com uma representatividade de 98,04 %; e, por fim, (ix) a resistência à compressão uniaxial verificada é maioritariamente S_2 , elevada, com 65,32%, seguida da S_1 , com 23,01%. Verifica-se, ainda, que a presença de água é praticamente inexistente (76,47% descontinuidades secas).

Na tentativa de representar os lineamentos tectónicos, encontra-se na figura 5.34 um esboço com respetiva malha de fracturação vetorizada, nos quais são delimitados os corredores de estudo. A análise da fracturação parece corroborar os valores obtidos na análise de dados, sintetizada na figura 5.35, indicando que os espaçamentos entre descontinuidades são menores a Sul da costa (descontinuidades mais próximas).

A figura 5.35 representa uma síntese final, realizando uma avaliação preliminar para a caracterização da costa rochosa de Lavadores. Neste mapa aqui proposto, inclui-se a definição dos corredores de estudo e a localização das respetivas “scanlines” (SL1,SL2 e SL3) e, ainda, uma síntese de informação obtida após o tratamento dos dados estatisticamente (principais famílias de descontinuidade, grau de alteração e outros parâmetros relevantes).

Tabela 5.4 – Síntese dos parâmetros geológico-geotécnicos para os perfis SL1,SL2 e SL3.

Parâmetro	SL1, SL2, SL3 - Síntese global			
	W ₁₂ (sã a ligeiramente alterada)	W ₃ (medianamente alterada)	W ₄₅ (muito alterada)	
Grau de alteração	86,27%	13,73%	-	
Estado de fracturação				
Tipo descontinuidade	Falha		Diaclase	
	43,14%		56,86%	
Abertura	Fechada	Aberta	Muito aberta	
	78,43%	19,61%	1,96%	
Espaçamento	F ₁₂ - muito afastadas a afastadas		F ₄₅ - próximas a muito próximas	
	82,35%	3,92%	13,73%	
Continuidade	Muito pouco continua	Pouco continua	Mediana/ continua	Muito continua
	9,80%	23,53%	39,22%	21,57%
Terminação	Rocha		Descontinuidade	
	15,69%		31,37%	
Curvatura	C ₁₂ - planas a ligeiramente curvas		C ₄₅ - muito curvas	
	47,06%	39,21%	13,73%	
Rugosidade	R ₁₂ - lisa a algo rugosa		R ₄₅ - muito rugosa	
	25,49%	54,90%	19,61%	
Enchimento	Rocha/rocha esmagada		Vegetação	
	-	1,96%	98,04%	
Presença de água	Seco		Ligeiramente húmido a húmido	
	76,47%		23,53%	
Resistência à compressão simples	S ₁ - muito elevada (>200 MPa)		S ₂ - elevada (60-200 MPa)	
	23,01%	65,38%	S ₃ - média (20-60 MPa)	11,54%

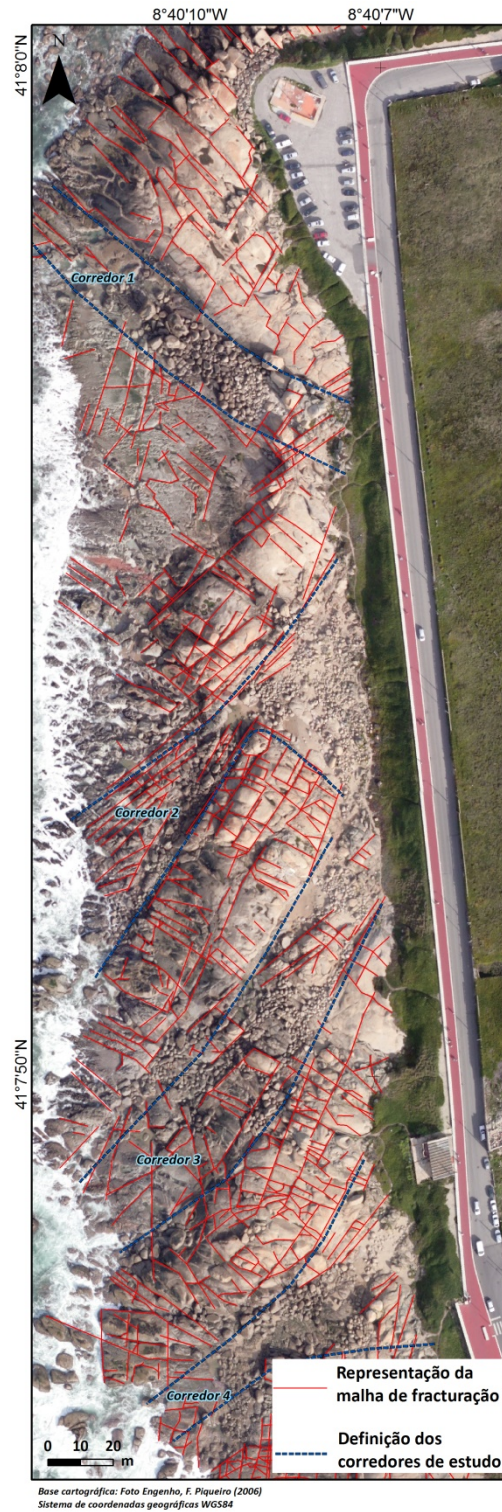


Figura 5.34 – Esboço com respetiva malha de fracturação vetorizada, com delimitação dos corredores de estudo.

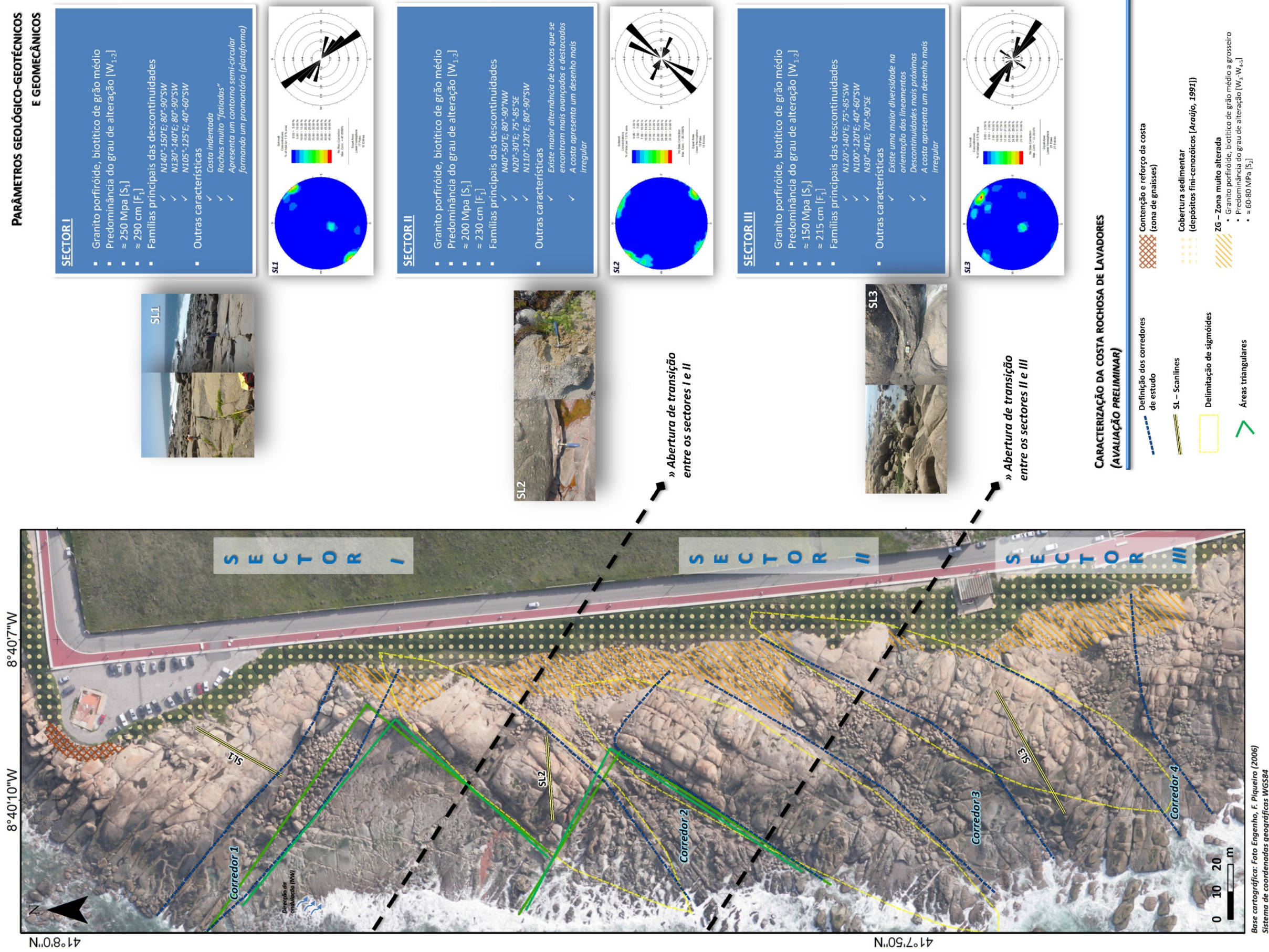


Figura 5.35 – Mapa síntese composto por: Corredores de estudo e a localização das respetivas "scanlines" (SL1, SL2 e SL3); Síntese de informação obtida após o tratamento de dados estatisticamente (principais famílias de descontinuidade, grau de alteração e outros parâmetros relevantes).


5.2. Geomorfologia costeira e dinâmica litoral

Efetou-se um tratamento estatístico e a criação de uma base de dados que permitiu o estudo pormenorizado das geoformas (marmitas litorais). É de salientar que na metodologia para a inventariação das marmitas foi utilizado um GPS de alta resolução, de modo a georreferenciar as mesmas.

5.2.1. Estudo das geoformas – marmitas litorais

Este estudo incidiu na divisão e análise de três níveis distintos, a saber: nível superior, intermédio e inferior, apresentada na figura 5.42 (ver pág.132). Analisam-se alguns parâmetros (e.g. pH, temperatura da água, dimensões das marmitas, entre outros) e obtém-se o valor de ressalto com o auxílio do martelo de Schmidt. A tabela 5.5 exemplifica o preenchimento resumido dos parâmetros obtidos para a marmita litoral com o ID 1.

Tabela 5.5 – Exemplo da base de dados criada para a marmita litoral ID1.

ID 1		Dimensões				Preenchimento de água			
Foto	pH	T (°C)	a (m)	b (m)	c (m)	T (°C)	Altura de coluna (m)	pH	Média ressalto (martelo Schmidt)
	8,50	14,80	1,30	0,65	0,55	20,80	0,06	9,91	43,3
	Hora		a×b×c (m³)			Observações			
	17h30		0,46			Presença de algas,sal			

Nível superior – análise de resultados

As marmitas incluídas neste setor estão numeradas de 1 a 4, como se verifica na tabela 5.6, onde é possível observar as dimensões médias das mesmas, perfazendo um volume médio de 0,19m³.

Tabela 5.6 – Síntese dos parâmetros obtidos para as geoformas do nível superior.

Nível superior									
ID	pH água	T (°C) água	a (m)	b (m)	c (m)	Altura coluna água(m)	pH preenchimento	T (°C) preenchimento	Média valores ressalto (martelo Schmidt)
1	8,50	14,80	1,30	0,65	0,55	0,06	9,91	20,80	43,28
2	8,50	14,80	0,90	0,90	0,25	0,07	8,74	20,40	48,64
3	8,49	13,50	0,90	0,90	0,18	0,13	9,68	17,70	45,84
4	8,49	13,50	0,47	0,47	0,23	0,04	10,21	13,30	48,32
Médias do setor									
	8,50	14,15	0,89	0,73	0,30	0,08	9,64	18,05	46,52

Através do diagrama de Zingg (ver a descrição no capítulo 2 – materiais e métodos), verifica-se que o tipo de forma das marmitas corresponde, maioritariamente à forma discoidal (figura 5.36).

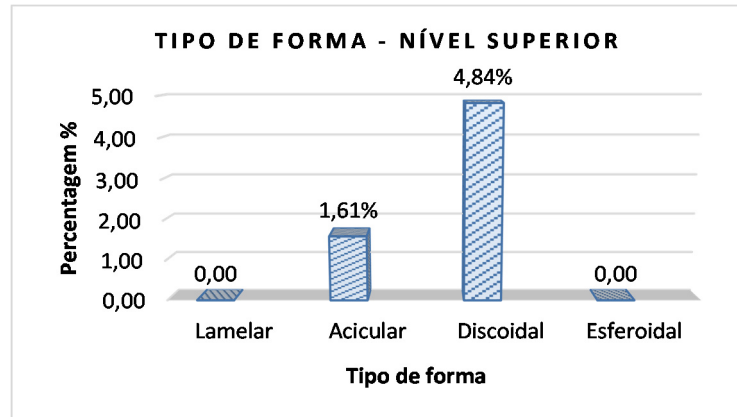


Figura 5.35 – Representação do tipo de forma para as marmitas do nível superior.

Nível intermédio – análise de resultados

Numeradas de 5 a 33, as marmitas deste setor apresentam um volume médio de 0,8m³, estando presentes na tabela 5.7 uma síntese de valores médios obtidos. Relativamente à análise de forma, verifica-se a predominância da forma discoidal (20,97%) (figura 5.37). Na tabela 5.8 pode observar-se os parâmetros analisados para cada marmita.

Tabela 5.7 – Representação dos parâmetros médios obtidos para o nível intermédio.

Nível intermédio									
ID	pH água	T (°C) água	a (m)	b (m)	c (m)	Altura coluna água (m)	pH preenchimento	T (°C) preenchimento	Média valores resalto (martelo Schmidt)
Médias do setor									
	8,46	14,45	1,10	1,00	0,80	0,41	8,53	16,60	64,40

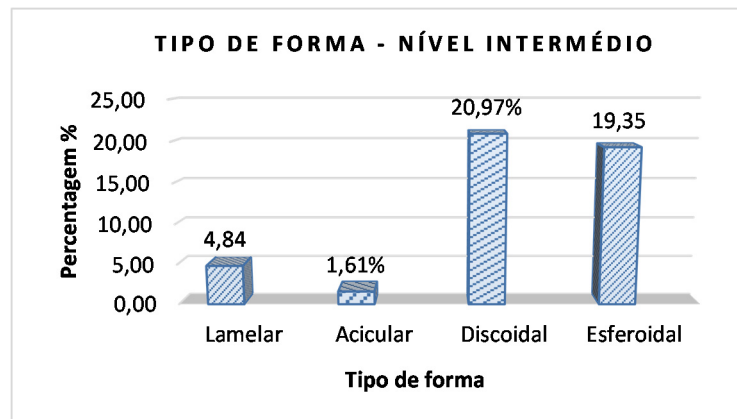


Figura 5.36 – Representação do tipo de forma para as marmitas do nível intermédio.

Tabela 5.8 – Síntese dos parâmetros obtidos para as marmitas do setor intermédio (ID 5 a ID 33).

Nível intermédio									
ID	pH _{água}	T _{água} (°C)	a (m)	b (m)	c (m)	Altura coluna água (m)	pH preenchimento	T preenchimento (°C)	Média valores ressalto (martelo Schmidt)
5	8,50	14,18	0,95	0,90	0,80	0,35	10,17	21,00	62,76
6	8,50	11,20	1,75	1,70	1,40	-	-	-	50,08
7	8,35	13,40	2,00	1,70	0,80	0,60	10,25	12,00	45,52
8	8,52	12,50	2,10	1,70	0,30	0,30	10,67	14,40	53,88
9	8,52	12,50	2,30	1,15	0,15	0,15	10,26	16,00	54,52
10	8,49	13,50	1,10	1,00	0,15	0,10	10,59	15,10	60,04
11	8,49	13,50	0,85	0,75	0,70	0,10	10,50	15,60	60,20
12	8,49	13,50	1,15	1,00	0,65	0,22	10,13	16,60	60,52
13	8,22	15,60	0,95	0,75	0,08	0,03	9,64	25,50	47,36
14	8,21	15,60	0,85	0,60	0,05	0,01	-	-	48,64
15	8,50	11,20	0,90	0,90	0,80	0,02	8,67	19,00	52,56
16	8,50	11,20	1,40	1,20	0,80	1,25	10,80	13,90	49,00
17	8,50	11,20	2,60	1,70	1,10	0,85	9,41	14,10	57,36
18	8,50	11,20	1,60	1,40	0,80	0,10	10,62	15,00	56,16
19	8,50	11,20	1,40	1,25	0,35	0,20	10,66	14,70	50,28
20	8,21	15,60	0,80	0,80	0,75	-	-	-	51,21
21	8,21	15,60	1,00	0,80	0,15	0,10	9,91	26,40	48,36
22	8,21	15,60	1,20	0,65	0,45	0,24	9,63	24,20	52,24
23	8,21	15,60	0,70	0,53	0,05	0,01	-	-	48,76
24	8,21	15,60	1,60	1,40	1,10	0,65	8,34	20,90	56,88
25	8,21	15,60	1,10	1,20	0,75	-	-	-	45,44
26	8,21	15,60	2,80	2,20	0,55	-	-	-	48,00
27	8,21	15,60	1,10	0,70	0,30	-	-	-	46,00
28	8,21	15,60	1,10	0,90	0,80	0,13	9,96	24,40	59,76
29	8,50	14,80	0,90	0,80	0,15	0,08	10,03	22,30	55,76
30	8,50	14,80	1,10	1,00	0,90	0,45	8,26	19,30	64,52
31	8,50	14,80	0,60	0,60	0,50	0,20	8,85	17,70	65,12
32	8,50	14,80	1,40	1,20	1,00	0,60	8,72	16,70	63,04
33	8,35	13,40	1,30	1,20	0,80	0,40	8,30	12,70	64,92

Nível inferior – análise de resultados

As marmitas encontradas no nível inferior apresentam um volume médio de 0,97m³ e as dimensões que se encontram definidas na tabela 5.9. Tendo em conta o tipo de forma, predomina com igual percentagem a discoidal e esferoidal (4,84%) e, de seguida a lamelar e discoidal ambas com 3,23% (figura 5.38).

Tabela 5.9 – Síntese dos parâmetros obtidos para as marmitas do nível inferior.

Nível inferior									
ID	pH água	T (°C) água	a (m)	b (m)	c (m)	Altura coluna água(m)	pH preenchimento	T (°C) preenchimento	Média valores resalto (martelo Schmidt)
34	8,47	13,50	1,60	0,70	0,40	0,03	10,25	22,40	70,32
35	8,35	13,40	1,40	1,50	0,70	0,10	8,50	22,50	71,81
36	8,35	13,40	1,55	1,10	0,65	0,10	8,50	22,50	63,90
37	8,47	13,50	1,10	1,00	0,80	0,18	13,60	20,50	57,32
38	8,21	15,60	1,70	1,40	1,10	0,50	8,40	20,80	59,88
39	8,21	15,60	1,00	0,80	0,55	0,10	8,80	23,50	60,00
40	8,21	15,60	1,10	0,70	0,05	0,04	9,81	23,00	53,44
Médias do setor									
	8,37	13,88	1,41	1,08	0,64	0,10	10,21	21,98	73,84

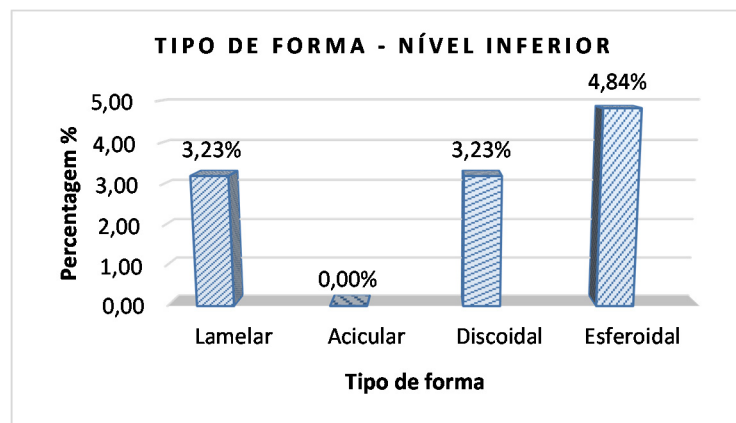


Figura 5.37 – Representação do tipo de forma para as marmitas do nível inferior.

Análise crítica de resultados e cartografia

De um modo geral, através de inspeções visuais realizadas no setor costeiro verifica-se a divisão das marmitas litorais em três principais grupos: (i) marmitas situadas entre os níveis de maré alta e baixa ou pouco acima destes; (ii) marmitas situadas acima dos níveis de maré alta, com processos mecânicos ativos; e (iii) marmitas situadas acima dos níveis de maré alta sem processos mecânicos ativos. Na figura 5.39 observa-se um esboço onde se pretende mostrar esquematicamente a formação das marmitas. Verifica-se a formação das mesmas através da ação erosiva do mar, aliada à acumulação de partículas que vão erodindo a rocha, criando uma cavidade que sofre posteriormente um alargamento progressivo.

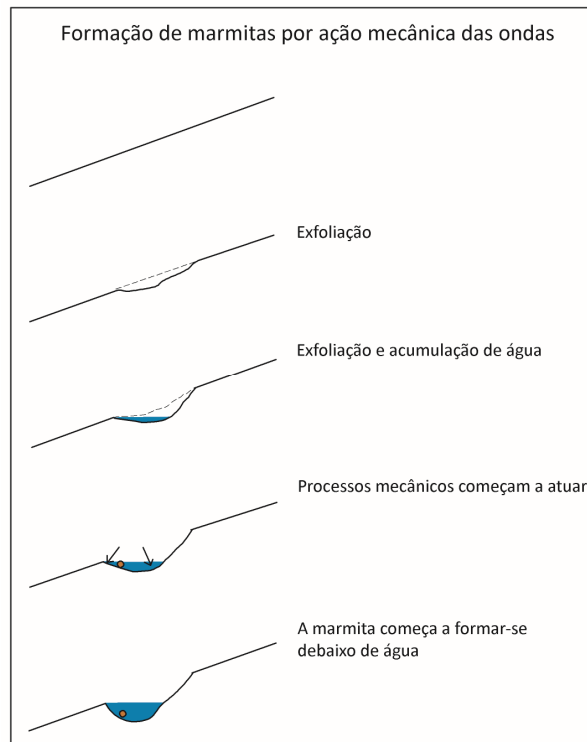


Figura 5.38 – Esquema da formação das marmitas.

Observa-se que as marmitas entre os níveis de maré alta e baixa apresentam dimensões superiores às mais afastadas, por ação mecânica das ondas que vão criando estas formas bem definidas, tal como é possível corroborar com os dados obtidos na tabela 5.10. No entanto, uma vez que estas marmitas se encontram numa área de plataforma escorregadia, a determinação de parâmetros é extremamente complexa, sendo que a amostra para o denominado “nível inferior” é significativamente menor. Os valores de ressalto do martelo de Schmidt indicam, também que o valor de ressalto será superior nesta zona, com valores mais baixos no denominado “nível superior”.

Tabela 5.10 – Síntese geral dos parâmetros obtidos para as marmitas estudadas.

pH água	T (°C) água	a (m)	b (m)	c (m)	Altura coluna água (m)	pH preenchimento	T (°C) preenchimento	Média valores ressalto (martelo Schmidt)
Médias do nível superior (ID 1 ao ID 4)								
8,50	14,15	0,89	0,73	0,30	0,08	9,64	18,05	46,52
Médias do nível intermédio (ID 5 ao ID 33)								
8,46	14,45	1,10	1,00	0,80	0,41	8,53	16,60	64,40
Médias do nível inferior (ID 34 ao ID 40)								
8,37	13,88	1,41	1,08	0,64	0,10	10,21	21,98	73,84

As marmitas formadas acima dos níveis de maré alta, com processos mecânicos ativos são as de maior abundância (nível intermédio). Estas estão ocasionalmente sujeitas a processos mecânicos

por ação das ondas (essencialmente durante tempestades), variando significativamente as suas dimensões e formas geométricas e, dificultando a determinação da sua origem e processos de formação. Porém, salientam-se os principais processos que exercem influência na sua formação: (i) processos mecânicos de erosão devido à ação das ondas; (ii) exfoliação da rocha e processos relacionados (figura 5.40); e (iii) alteração química.



Figura 5.39 – Exemplos de exfoliação do granito.

A hidratação de minerais expansíveis, o ataque por parte do sal marinho e as mudanças de temperatura são, provavelmente, responsáveis por esta descamação no granito (Migon, 2006). Estas marmitas apresentam indícios de duas fases distintas de formação: (i) a primeira consiste na desintegração da rocha por parte da exfoliação do granito, caracterizada pela inclinação íngreme; e (ii) a segunda é o resultado da formação de uma concavidade de forma mais ou menos regular que se preenche por água, devido a processos mecânicos.

Estando as marmitas deste grupo (nível intermédio) expostas à ação das ondas e processos mecânicos apenas ocasionalmente, considera-se a hipótese destas geoformas com maiores dimensões e bem desenvolvidas, como é o caso da ID16 (figura 5.41), terem já ocupado uma posição mais próxima do mar no passado.



Figura 5.40 - Fotografia da marmita ID16.

Relativamente ao nível superior, é de salientar que as marmitas se localizam afastadas do mar, não sendo sujeitas aos processos mecânicos. Considera-se a sua origem química, sendo a alteração química do granito o processo mais relevante a ter em conta.

A figura 5.43 representa um esquema de algumas fotografias tiradas com o intuito de apoiar a definição e visualização das arestas numa determinada imagem, permitindo a observação da diversidade de geoformas na área de estudo. É possível, ainda, visualizar os corredores de estudo e a delimitação do grau de fracturação ou dos lineamentos ao longo da plataforma. Por sua vez, na figura 5.44, pretende-se demonstrar a referida diversidade de geoformas existentes na área de estudo e já cartografadas/identificadas em estudos anteriores (e.g. Gomes et al. 2002). Deste modo são brevemente descritas as seguintes geoformas: (i) bloco pedunculado – resultado da erosão mais intensa e violenta na base de um bloco granítico (erosão diferencial); (ii) torre granítica – acumulação de blocos graníticos *in situ* respeitando o sistema de fraturas original; (iii) escarpa – paredes rochosas verticais ou próximo, resultado da ação antrópica por extração de rocha ou ação erosiva do mar; (iv) plataforma de abrasão – superfície aplanada e irregular, próxima do nível do mar; (v) sapa – resultado da ação do mar sob uma arriba, provocando escavamento na base; e (vi) arco de abrasão marinha – superfícies de granito polido sob ação de ondas do mar, onde é aproveitada a fragilidade estrutural e mineralógica de uma dada área na rocha e se forma um arco que permite passagem de água.

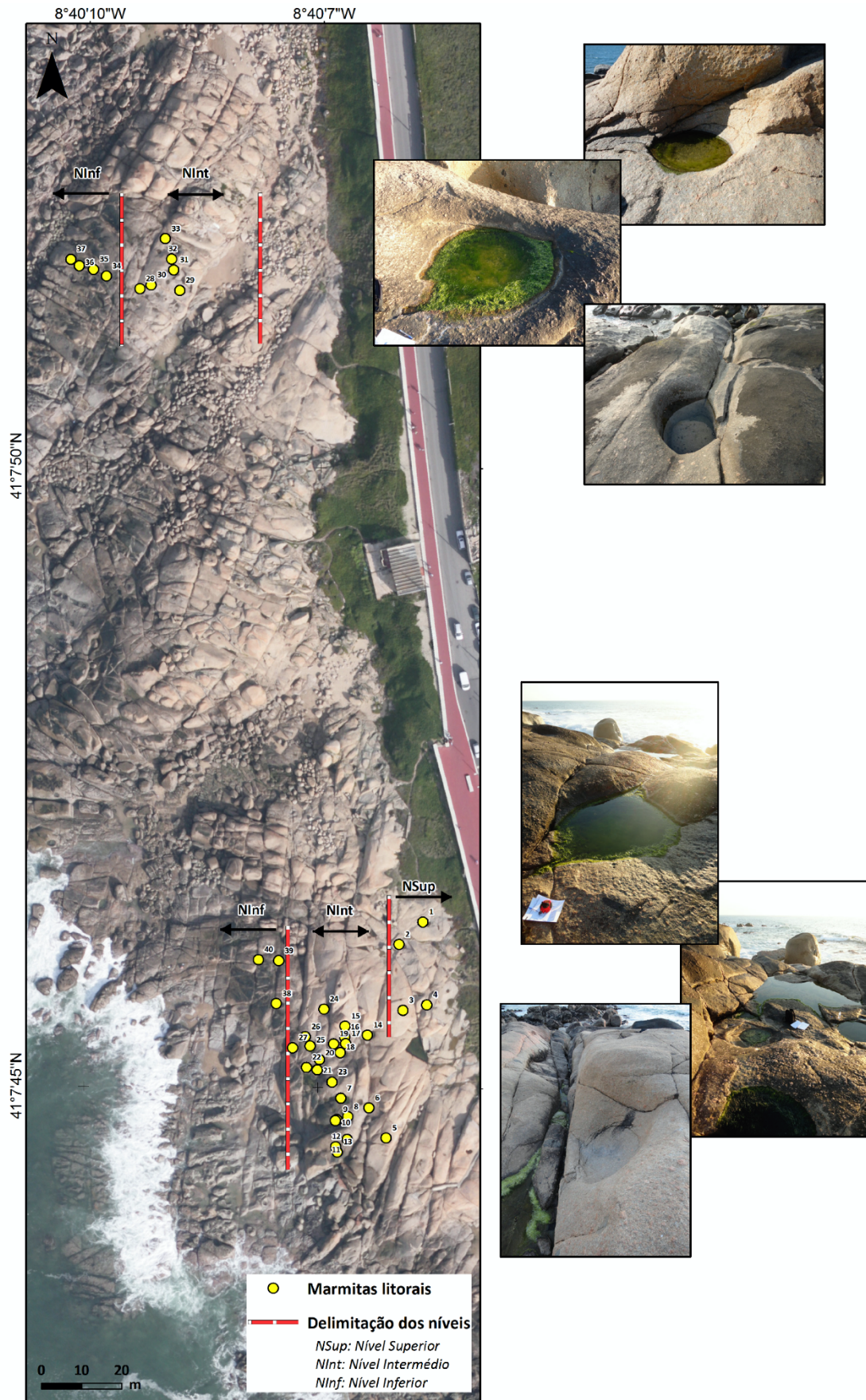


Figura 5.41 – Representação da divisão em diferentes níveis de marmitas observadas e estampa de imagens.

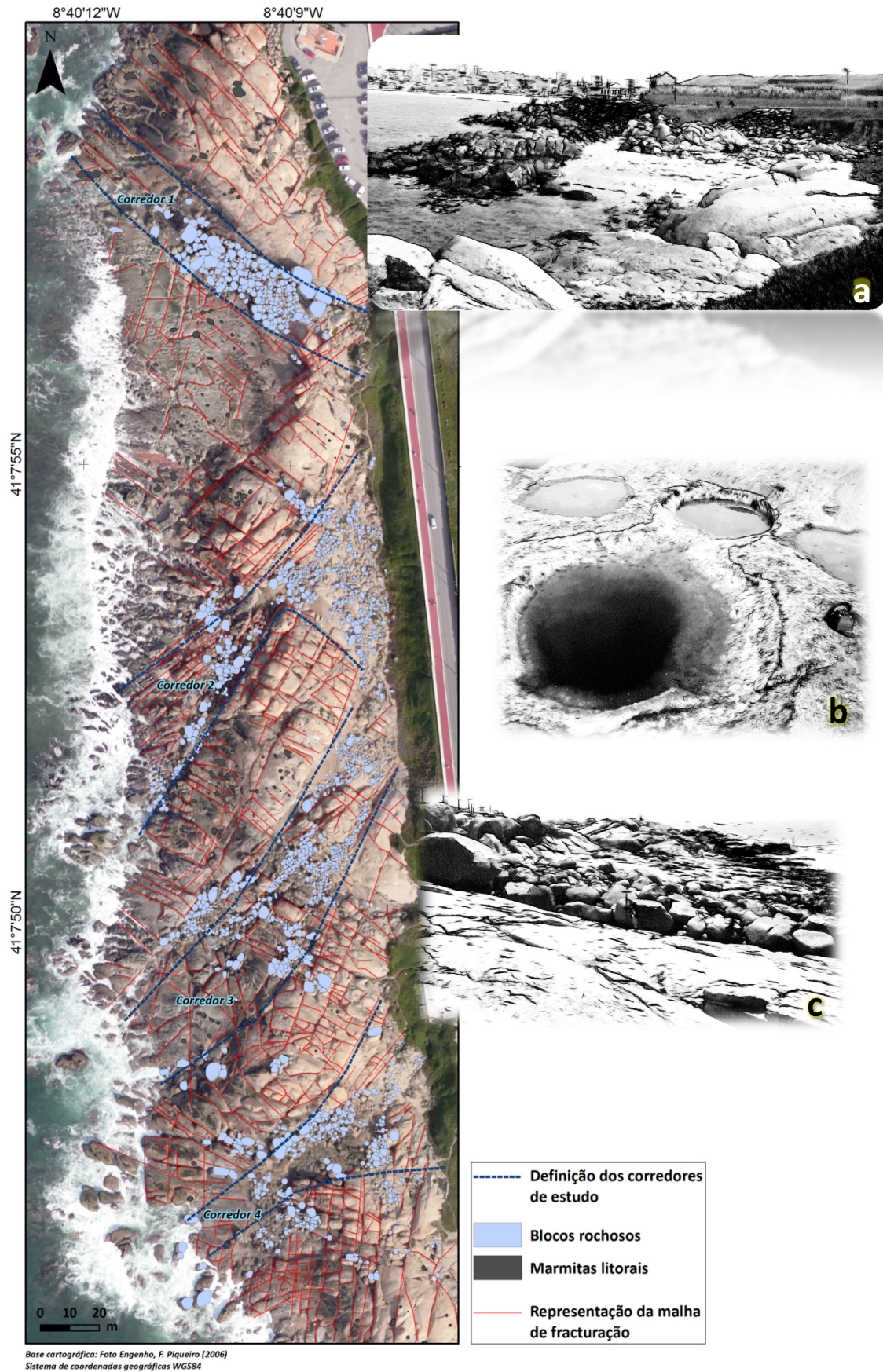


Figura 5.42 – Cartografia com a definição dos corredores de estudo, geoformas e lineamentos tectónicos a - aspeto geral do setor de estudo; b - marmiteas litorais; c - exemplificação de um corredor de estudo.

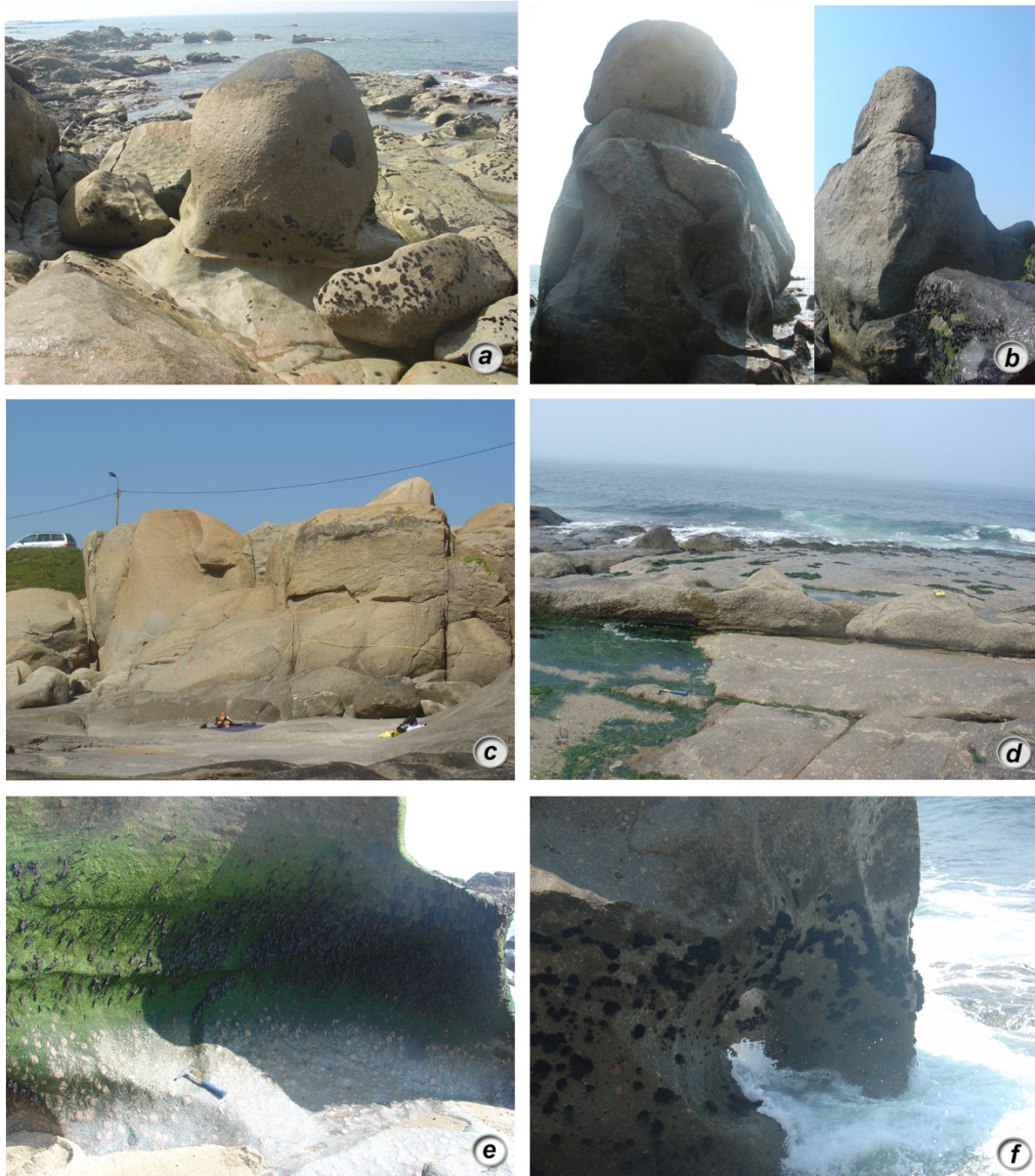


Figura 5.43 – Estampa com as diferentes geoformas de interesse em Lavadores a - bloco pedunculado; b - torre granítica; c - escarpa; d - plataforma de abrasão; e - sapa; f - arco de abrasão marinha.

Do estudo preliminar realizado observa-se que a altitude poderá ser um parâmetro importante ao longo da costa, pois a geometria, processos de formação e tipo de geoformas aparentemente variam, com a variação da altitude. Deste modo, esta análise permitiu ainda caracterizar em termos de geomorfologia costeira a área de Lavadores e especificamente do tipo de geoforma aqui estudado (marmitas litorais), verificando-se que existe ainda um longo caminho a percorrer nas investigações nesta temática.

5.3. Caracterização de blocos rochosos – abordagem preliminar

Este subcapítulo está relacionado com o estudo e análise de resultados obtidos durante o trabalho de campo para os blocos rochosos e sector costeiro de Lavadores, sua caracterização e avaliação. Pretende-se realizar uma abordagem preliminar para um primeiro zonamento de blocos no setor costeiro de Lavadores. Realiza-se inicialmente uma breve nota introdutória, descrevendo os principais parâmetros estudados e metodologia aplicada. Posteriormente é apresentada a análise dos resultados para os diferentes setores em estudo.

5.3.1. Breve nota introdutória

Para a caracterização de blocos rochosos graníticos, recorreu-se à divisão do setor em quatro corredores de estudo. Para cada corredor realizou-se o inventário dos blocos, tendo sido efetuada uma minuciosa caracterização que incluiu registo fotográfico dos 246 blocos caracterizados. Foram registados alguns parâmetros para a avaliação dos geomateriais, como o grau de alteração, geometria de blocos, azimute/mergulho, ressalto/dureza (figura 5.45). Foram realizados ainda, dois perfis de praia, tornando possível, assim, uma melhor compreensão visual dos tipos de acumulação e dimensões geométricas observadas. Assim, considera-se: (i) Perfil 1 – Corredor 1; (ii) Perfil 1, Perfil 2 e Perfil 3 – Corredor 2; (iii) Perfil 1, Perfil 2 e Perfil 3 – Corredor 3; e (iv) Perfil 1, Perfil 2 – Corredor 4 (figura 5.46). Para a realização desta análise foi necessário ter em consideração a litologia (granito porfiróide biotítico) e as variações do seu grão observadas (médio e médio-grosso), assim como a densidade média do granito ($2,65\text{g}/\text{dm}^3$).

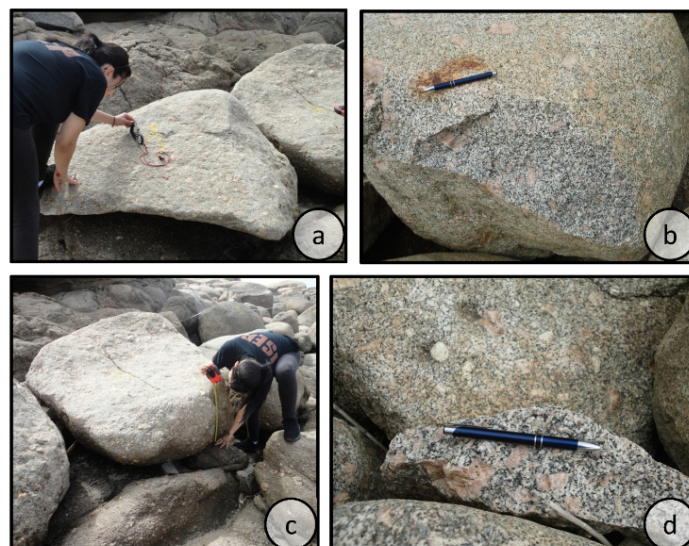


Figura 5.44 – Exemplos do registo fotográfico da metodologia aplicada e tipos de formas observadas. a - Determinação do mergulho; b - Observação de superfície de arrancamento; c - Evidências de porção de rocha arrancada; d - pormenor dos megacristais dos blocos.



Figura 5.45 – Localização dos corredores, perfis de estudo e perfis de praia ao longo do sector rochoso de Lavadores.

5.3.2. Síntese de resultados – Corredor 1 ao 4

Corredor 1

Na figura 5.47 pode-se observar uma estampa com fotografias do Corredor 1, incluindo aspetos diversificados das geofomas em termos de dimensão e granulometria. Verifica-se a existência de blocos de elevadas dimensões denominados CB ou VCB, “coarse boulders” e “very coarse boulders”, segundo a classificação de Blair & McPherson, 1999 e Pérez-Alberti et al., 2012. Para o Corredor 1 considera-se uma “scanline” de 60 m de extensão, incluindo a inventariação de 62 blocos registados fotograficamente. Embora se tenha recorrido a uma ficha aplicada para inventariar os blocos, opta-se por representar os resultados em quadros-síntese com a informação mais relevante (dimensões, massa, valores de ressalto e dureza). Deste modo, nas tabelas 5.11 e 5.12, resumem-se as principais características inventariadas.



Figura 5.46 – Estampa com a diversidade de aspetos visuais observados no Corredor 1.

Tabela 5.11 – Síntese do inventário de blocos rochosos para o Corredor 1.

Corredor 1 Perfil 1						
ID	a (m)	b (m)	c (m)	Massa (ton)	Média HLD	Média rebound
1	3,00	1,20	0,70	6,68	426	25,24
2	2,00	0,80	0,50	2,12	635	43,64
3	0,50	0,40	0,15	0,08	456	53,32
4	0,70	0,55	0,40	0,41	663	58,40
5	0,65	0,55	0,20	0,19	652	64,40
6	0,39	0,25	0,12	0,03	601	61,00
7	0,60	0,35	0,30	0,17	578	55,00
8	0,85	0,60	0,40	0,54	627	49,56
9	1,10	1,00	0,80	2,33	605	48,64
10	2,40	1,60	0,80	8,14	519	46,04
11	1,50	0,90	0,60	2,15	579	57,92
12	1,10	0,90	0,30	0,79	583	57,80
13	0,60	0,40	0,10	0,06	576	56,12
14	2,60	2,30	1,20	19,02	671	36,32
15	0,60	0,40	0,20	0,13	675	61,08
16	1,40	0,80	0,70	2,08	544	61,08
17	1,40	1,30	0,20	0,96	554	53,92
18	1,10	0,75	0,35	0,77	620	53,88
19	2,00	1,50	0,50	3,98	690	59,69
20	1,80	1,50	0,80	5,72	573	37,24
21	1,30	0,60	0,30	0,62	554	41,80
22	5,30	3,50	3,00	147,47	792	52,52
23	0,80	0,40	0,30	0,25	581	55,36
24	0,55	0,50	0,16	0,12	637	61,64
25	0,8	0,7	0,7	1,04	743	46,84
26	2,00	1,10	1,10	6,41	811	55,04
27	1,79	1,70	0,80	6,45	702	54,64
28	1,00	1,10	1,10	3,21	629	55,80
20	1,00	0,80	0,40	0,85	733	66,12
30	1,75	1,10	0,60	3,06	769	58,92
31	1,90	1,30	0,70	4,58	787	55,72
Média	1,10	0,80	0,50	1,04	627,00	55,04

Tabela 5.12 – Síntese do inventário de blocos rochosos para o Corredor 1 – Parte 2.

ID	a (m)	b (m)	c (m)	Massa (ton)	Média HLD	Média rebound
32	1.25	0.80	0.40	1.06	757	60.20
33	3.00	1.65	1.30	17.05	826	49.40
34	1.70	1.60	0.70	5.05	761	56.24
35	1.10	0.60	0.20	0.35	611	60.96
36	1.30	0.90	0.80	2.48	646	53.64
37	0.90	0.60	0.30	0.43	641	63.48
38	0.75	0.60	0.55	0.66	635	60.20
39	1.80	1.30	0.50	3.10	833	61.40
40	2.45	2.00	0.50	6.49	695	67.24
41	1.90	1.70	1.30	11.13	841	57.56
42	2.85	1.85	0.65	9.08	766	60.28
43	0.55	0.50	0.15	0.11	698	60.40
44	1.33	0.80	0.60	1.69	709	63.76
45	2.60	2.20	1.10	16.67	808	65.76
46	0.90	0.60	0.30	0.43	482	52.16
47	1.80	1.30	0.62	3.84	859	65.76
48	1.60	1.10	0.40	1.87	726	67.32
49	2.40	1.30	0.80	6.61	813	61.40
50	1.40	0.90	0.30	1.00	354	34.76
51	2.50	1.60	1.20	12.72	832	69.72
52	1.70	0.90	0.70	2.84	824	77.76
53	2.00	1.50	1.00	7.95	793	75.88
54	3.10	1.60	1.00	13.14	810	70.60
55	4.50	1.80	0.90	19.32	861	79.04
56	3.70	1.60	0.95	14.90	882	76.20
57	2.20	2.10	0.80	9.79	833	77.28
58	3.50	1.90	1.80	31.72	901	74.36
59	1.50	1.20	0.75	3.58	802	71.56
60	0.90	0.70	0.20	0.33	711	69.16
61	3.70	3.00	1.20	35.30	863	73.12
62	2.30	1.60	0.60	5.85	840	70.04
Média total	1.55	1.10	0.60	2.66	696.50	59.94

Analisando o tipo de forma pelo diagrama de Zingg (segundo Wadell, 1932 e Zingg, 1935, descrito no capítulo 2) observa-se a dominância das formas discoidais neste corredor (figura 5.48).

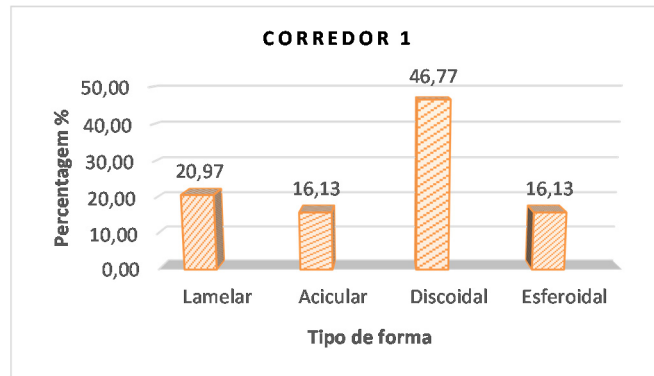


Figura 5.47 – Análise do tipo de forma para o Corredor 1.

Corredor 2

No Corredor 2 consideram-se três perfis realizados, com 90 m de extensão na totalidade. Na figura 5.49 observam-se alguns aspetos deste corredor tais como diferenciação em termos de tamanho de grão dos blocos e observação de blocos de grandes dimensões. Nas tabelas 5.13, 5.14 e 5.15 verifica-se uma síntese de resultados obtidos para cada um dos perfis.



Figura 5.48 – Estampa de fotografias do Corredor 2 com alguns aspetos gerais.

Tabela 5.13 – Síntese de resultados para o Corredor 2 – Perfil 1.

Corredor 2 - Perfil 1						
ID	a (m)	b (m)	c (m)	Massa (ton)	Média HLD	Média rebound
1	0,85	0,62	0,50	0,70	540	54,56
2	0,80	0,55	0,30	0,35	463	56,96
3	0,60	0,50	0,30	0,24	351	23,64
4	1,20	0,90	0,60	1,72	515	36,28
5	1,10	0,80	0,50	1,17	306	26,20
6	1,00	0,60	0,40	0,64	682	43,44
7	1,10	0,70	0,70	1,43	477	34,16
8	1,00	0,80	0,50	1,06	539	48,76
9	0,80	0,80	0,40	0,68	576	48,00
10	0,75	0,50	0,35	0,35	476	43,64
11	0,95	0,70	0,30	0,53	390	45,88
12	2,00	1,45	0,45	3,46	499	34,92
13	1,20	0,85	0,55	1,49	643	32,12
14	0,60	0,45	0,40	0,29	500	51,48
15	0,90	0,55	0,50	0,66	650	41,64
16	1,90	1,30	0,40	2,62	419	38,36
17	1,50	1,10	0,50	2,19	494	36,16
18	1,40	0,65	0,40	0,96	494	49,72
19	0,60	0,40	0,20	0,13	465	46,52
20	1,40	1,10	0,30	1,22	628	46,48
21	0,80	0,50	0,35	0,37	555	55,44
22	0,70	0,50	0,30	0,28	566	49,72
23	1,40	1,00	0,50	1,86	630	30,72
24	1,10	0,90	0,30	0,79	633	42,48
25	0,60	0,45	0,40	0,29	726	51,20
26	0,70	0,60	0,20	0,22	457	55,76
27	0,50	0,40	0,30	0,16	563	60,40
28	0,85	0,80	0,30	0,54	616	71,84
29	0,60	0,60	0,30	0,29	559	55,88
30	1,10	0,70	0,60	1,22	691	60,04
31	1,30	1,10	0,70	2,65	677	68,84
32	0,75	0,65	0,30	0,39	670	81,88
33	0,50	0,50	0,30	0,20	669	72,32
34	1,40	1,00	0,50	1,86	695	77,72
35	1,20	1,00	0,30	0,95	661	64,52
36	1,40	1,40	0,65	3,38	789	70,24
37	1,65	0,90	0,50	1,97	631	66,84
38	1,70	1,60	1,00	7,21	642	59,64
39	3,10	3,00	1,90	46,83	669	58,52
Média	1,00	0,70	0,40	0,79	566,00	49,72

Tabela 5.14 – Síntese de resultados para o Corredor 2 – Perfil 2.

Corredor 2 - Perfil 2						
ID	a (m)	b (m)	c (m)	Massa (ton)	Média HLD	Média rebound
1	1,20	0,90	0,50	1,43	618	62,32
2	0,70	0,50	0,40	0,37	519	62,32
3	1,00	0,90	0,60	1,43	548	45,56
4	1,40	1,00	0,50	1,86	662	51,68
5	1,50	1,00	0,30	1,19	710	62,12
6	1,80	0,85	0,30	1,22	745	63,68
7	0,80	0,60	0,50	0,64	577	59,84
8	1,10	0,60	0,30	0,52	584	65,20
9	1,25	1,00	0,40	1,33	545	55,32
10	1,00	0,75	0,60	1,19	574	49,68
11	1,20	0,90	0,60	1,72	788	52,04
12	1,10	0,90	0,40	1,05	711	66,76
13	1,30	1,00	0,60	2,07	523	64,56
14	1,50	1,30	0,60	3,10	667	58,08
15	1,40	1,30	0,60	2,89	805	75,92
16	1,20	0,70	0,70	1,56	723	78,56
17	0,70	0,70	0,40	0,52	467	56,80
18	1,40	1,20	0,60	2,67	412	40,16
19	1,10	0,60	0,40	0,70	484	55,60
20	1,00	0,70	0,30	0,56	678	59,40
21	0,60	0,25	0,20	0,08	531	55,28
22	0,90	0,60	0,40	0,57	528	65,20
23	1,10	0,60	0,40	0,70	479	45,08
24	1,00	0,70	0,30	0,56	571	59,60
25	0,9	0,3	0,3	0,21	607	72,84
Média	1,10	0,75	0,40	1,19	577,00	59,60

Tabela 5.15 – Síntese de resultados para o Corredor 2 – Perfil 3.

Corredor 2 - Perfil 3						
ID	a (m)	b (m)	c (m)	Massa (ton)	Média HLD	Média rebound
1	1,00	0,70	0,50	0,93	680,00	50,60
2	1,20	0,70	0,40	0,89	625,00	39,32
3	0,70	0,30	0,60	0,33	562,00	45,60
4	1,30	1,10	0,40	1,52	605,00	60,92
5	1,20	0,60	0,30	0,57	650,00	66,72
6	1,50	0,80	0,50	1,59	611,00	57,08
7	0,60	0,55	0,35	0,31	551,00	69,00
8	1,30	1,10	0,50	1,89	645,00	51,48
9	1,40	0,60	0,50	1,11	597,00	57,88
10	0,80	0,70	0,45	0,67	518,00	39,20
11	0,55	0,40	0,25	0,15	587,00	80,44
12	1,00	0,70	0,60	1,11	574,00	70,00
13	1,60	1,00	0,50	2,12	548,00	74,88
14	1,50	1,20	1,00	4,77	608,00	70,68
15	0,90	0,70	0,20	0,33	564,00	70,60
16	1,50	1,10	0,80	3,50	533,00	54,08
17	4,00	3,30	2,10	73,46	665,00	50,44
18	1,70	1,10	1,00	4,96	683,00	79,64
19	1,10	0,60	0,40	0,70	573,00	77,48
20	1,70	1,00	1,00	4,51	543,00	74,68
21	0,90	0,60	0,40	0,57	633,00	69,76
22	1,80	1,20	0,60	3,43	661,00	74,48
Média	1,25	0,70	0,50	1,11	601,00	67,86

Verifica-se que em termos de forma dos geomateriais, tal como no Corredor 1, predominam as formas discoidais (figura 5.50) com mais de metade da percentagem da totalidade dos blocos analisados. Realizando uma análise mais pormenorizada observa-se que o perfil onde se encontra a maior representatividade desta forma é o Perfil 1 do Corredor 2 (figura 5.51).

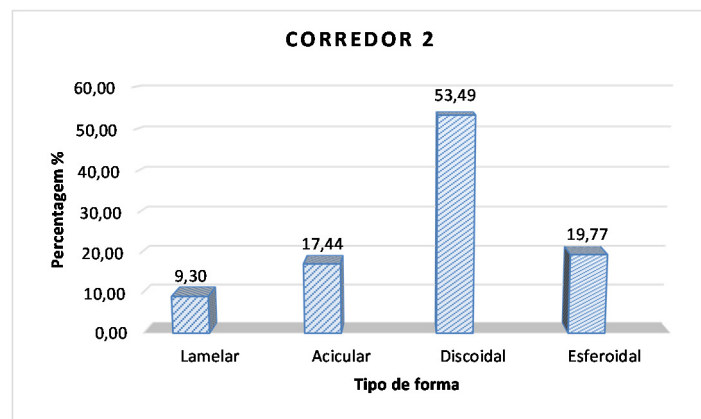


Figura 5.49 – Representação dos tipos de forma para o Corredor 2.

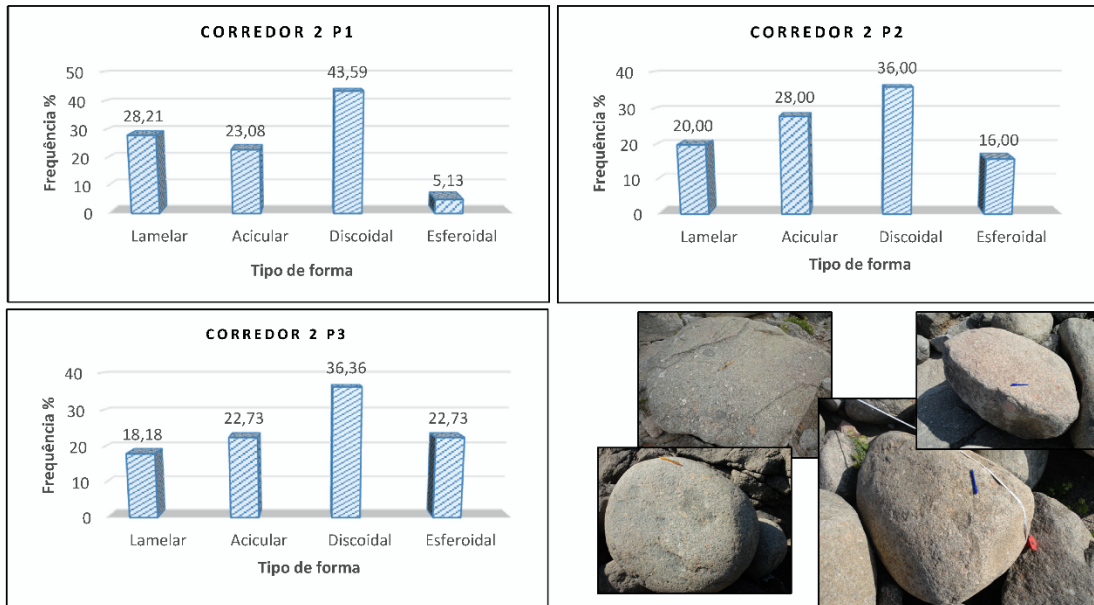


Figura 5.50 – Representação dos tipos de forma do Corredor 2 por perfil.

Corredor 3

Para o estudo do corredor identificaram-se 60 blocos rochosos, numa extensão de 60m de "scanline". Na figura 5.52 identificam-se alguns aspetos visuais do respetivo corredor. Realizaram-se três perfis, cuja informação obtida sintetizada se encontra nas tabelas 5.16, 5.17 e 5.18.



Figura 5.51 – Montagem de fotografias do Corredor 3 e aspetos de interesse ao longo do mesmo.

Tabela 5.16 – Síntese de resultados para o Corredor 3 – Perfil 1.

Corredor 3 - Perfil 1						
ID	a (m)	b (m)	c (m)	Massa (ton)	Média HLD	Média rebound
1	1,00	0,95	0,60	1,51	536	45,20
2	1,60	1,40	1,40	8,31	490	40,88
3	1,10	1,10	0,60	1,92	530	46,60
4	0,80	0,70	0,55	0,82	643	52,72
5	0,80	0,55	0,35	0,41	602	35,96
6	1,20	0,90	0,50	1,43	565	33,72
7	1,60	1,20	0,90	4,58	716	36,32
8	1,30	1,10	0,60	2,27	786	41,24
9	1,65	1,60	1,10	7,70	752	41,76
10	1,20	0,80	0,70	1,78	649	43,68
11	1,00	0,60	0,60	0,95	610	43,76
12	1,10	1,00	1,00	2,92	775	50,80
13	1,20	0,90	0,70	2,00	461	43,60
14	1,90	1,00	0,80	4,03	675	65,12
15	1,00	0,60	0,60	0,95	631	55,40
16	0,60	0,50	0,40	0,32	512	62,84
17	1,40	0,90	0,80	2,67	706	65,72
18	1,50	1,30	0,60	3,10	645	40,08
19	2,20	1,20	0,40	2,80	791	71,40
20	1,10	0,90	0,70	1,84	585	68,76
Média	1,26	0,96	0,70	2,62	633,00	49,28

Tabela 5.17 – Síntese de resultados para o Corredor 3 - Perfil 2.

Corredor 3 - Perfil 2						
ID	a (m)	b (m)	c (m)	Massa (ton)	Média HLD	Média rebound
1	0,80	0,60	0,55	0,70	602	48,40
2	0,55	0,30	0,25	0,11	619	57,16
3	0,60	0,50	0,30	0,24	519	69,36
4	0,45	0,35	0,25	0,10	644	56,36
5	0,80	0,55	0,40	0,47	825	64,76
6	1,25	0,70	0,40	0,93	508	57,20
7	0,90	0,85	0,25	0,51	627	50,40
8	1,20	0,70	0,50	1,11	523	55,00
9	0,80	0,70	0,30	0,45	478	52,48
10	1,30	0,90	0,60	1,86	586	55,92
11	1,20	1,00	0,55	1,75	602	48,40
12	0,85	0,70	0,45	0,71	485	68,20
13	1,30	1,10	0,90	3,41	544	51,88
14	1,00	0,55	0,45	0,66	505	56,28
15	0,80	0,60	0,55	0,70	786	79,76
16	0,80	0,70	0,45	0,67	548	48,44
17	0,80	0,50	0,35	0,37	581	67,04
18	1,60	1,20	0,80	4,07	449	54,44
19	0,85	0,70	0,40	0,63	457	54,76
20	1,30	0,90	0,45	1,40	600	42,68
21	0,80	0,45	0,40	0,38	616	48,40
22	1,60	1,10	0,60	2,80	618	46,84
23	1,00	0,90	0,50	1,19	671	69,72
24	1,90	1,30	0,60	3,93	540	65,20
25	1,10	1,00	0,65	1,89	595	59,36
Média	1,02	0,75	0,48	1,24	581,12	57,14

Tabela 5.18 – Síntese de resultados para o Corredor 3 - Perfil 3.

Corredor 3 - Perfil 3						
ID	a (m)	b (m)	c (m)	Massa (ton)	Média HLD	Média rebound
1	2,10	0,70	0,70	2,73	698	50,20
2	1,85	1,10	0,90	4,85	679	69,32
3	3,90	2,00	0,70	14,47	664	63,72
4	1,80	1,80	0,90	7,73	598	43,32
5	1,30	1,10	0,80	3,03	763	61,88
6	2,40	1,80	1,40	16,03	719	63,20
7	3,20	1,50	0,90	11,45	694	57,28
8	1,90	1,50	0,90	6,80	673	54,72
9	1,40	0,70	0,60	1,56	659	70,24
10	1,80	0,90	0,80	3,43	740	64,20
11	2,70	1,50	1,10	11,81	755	77,80
12	1,30	0,90	0,80	2,48	781	67,64
13	1,40	1,10	0,80	3,26	716	79,28
14	3,65	3,00	1,65	47,88	838	70,12
Média	2,19	1,40	0,93	9,82	712,64	63,78

Verifica-se neste corredor a predominância da forma dos blocos discoidal e esferoidal (figura 5.53). Na figura 5.54, representa-se o tipo de forma por perfil, sendo visível alguns registos fotográficos representando blocos de diferentes geometrias. É de realçar que quase metade dos blocos rochosos analisados no Perfil 1 apresentam a forma esferoidal, sendo efetivamente neste perfil que se encontram em maior percentagem.

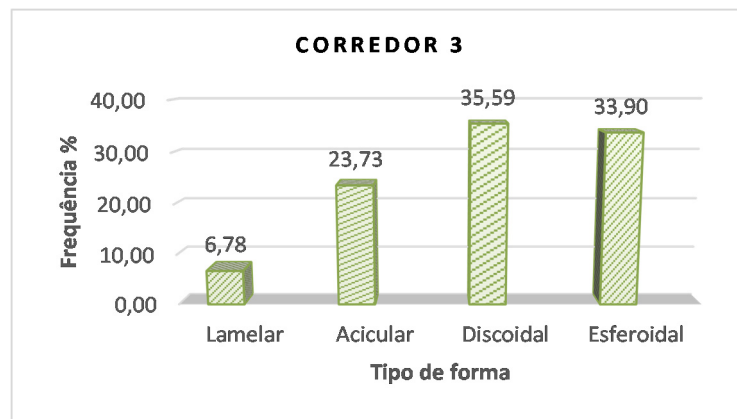


Figura 5.52 – Representação dos tipos de forma para o Corredor 3.

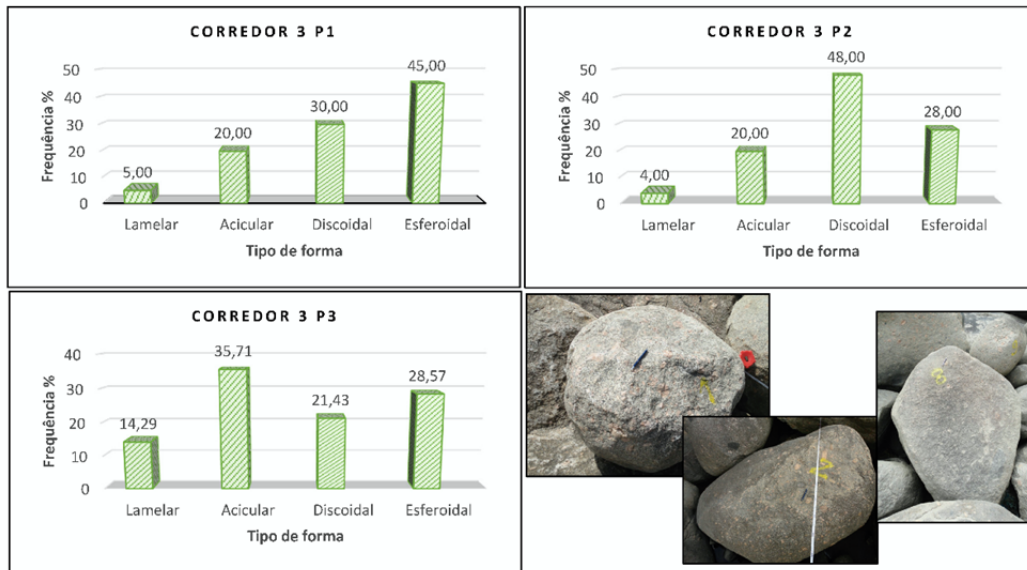


Figura 5.53 – Representação dos tipos de forma por perfil de estudo no Corredor 3 e exemplos da diversidade de formas observadas.

Corredor 4

Neste corredor foram analisados um total de 39 blocos rochosos, tendo-se registado várias fotografias das acumulações observadas (figura 5.55). Nas tabelas 5.19 e 5.20 encontra-se uma síntese dos parâmetros registados para cada um dos blocos. Neste corredor verifica-se a existência de grande energia, provocada pela ação do mar erosiva e provocando o transporte de diversos blocos rochosos. Neste corredor efetuou-se, ainda um estudo de mobilidade aplicado a um bloco rochoso ao qual se denominou bloco Y e que se encontra descrito no capítulo a seguir.



Figura 5.54 – Estampa de imagens gerais referentes ao Corredor 4.

Tabela 5.19 – Síntese de resultados para o Corredor 4 - Perfil 1.

Corredor 4 - Perfil 1						
ID	a (m)	b (m)	c (m)	Massa (ton)	Média HLD	Média rebound
1	1,50	1,20	0,55	2,62	608	63,36
2	1,50	1,25	0,80	3,98	568	40,76
3	1,20	1,00	0,50	1,59	555	57,12
4	1,25	0,80	0,60	1,59	712	58,28
5	1,40	1,35	0,70	3,51	652	47,92
6	0,80	0,40	0,25	0,21	707	76,16
7	0,75	0,60	0,40	0,48	590	37,20
8	1,20	1,00	0,60	1,91	596	54,84
9	0,90	0,80	0,30	0,57	562	48,44
10	0,60	0,50	0,50	0,40	590	49,68
11	0,90	0,55	0,25	0,33	566	36,36
12	1,60	1,50	0,75	4,77	674	51,56
13	1,10	0,70	0,70	1,43	524	45,16
14	1,30	1,10	0,80	3,03	668	45,36
15	1,00	0,50	0,50	0,66	556	60,64
16	0,75	0,55	0,45	0,49	567	54,84
17	1,30	1,20	0,80	3,31	633	56,40
18	2,40	1,80	1,65	18,89	681	54,64
19	1,10	0,65	0,45	0,85	595	40,00
20	1,00	0,75	0,50	0,99	645	49,76
21	1,80	0,80	0,60	2,29	612	44,80
22	1,50	0,90	0,50	1,79	606	47,00
23	1,00	0,90	0,55	1,31	565	45,00
24	1,80	1,10	1,10	5,77	620	42,76
Média	1,24	0,91	0,62	2,62	610,50	50,34

Tabela 5.20 – Síntese de resultados para o Corredor 4 - Perfil 2.

Corredor 4 - Perfil 2						
ID	a (m)	b (m)	c (m)	Massa (ton)	Média HLD	Média rebound
1	1,45	1,30	0,90	4,50	625	53,12
2	1,30	1,30	0,80	3,58	986	50,88
3	1,00	0,90	0,60	1,43	745	59,32
4	1,50	1,20	0,55	2,62	632	44,52
5	1,60	1,40	0,50	2,97	640	43,48
6	1,80	1,30	0,50	3,10	768	55,48
7	1,20	1,10	0,70	2,45	663	34,20
8	1,50	0,70	0,35	0,97	733	43,40
9	1,10	1,00	0,50	1,46	685	48,20
10	2,40	1,20	0,90	6,87	728	51,72
11	2,10	1,90	0,45	4,76	803	51,76
12	1,10	0,70	0,30	0,61	673	48,08
13	1,70	1,50	0,35	2,37	798	60,36
14	1,90	0,80	0,20	0,81	824	59,80
15	2,00	1,60	0,80	6,78	719	56,96
Média	1,58	1,19	0,56	3,02	734,80	50,75

Neste corredor observa-se uma dominância no tipo de forma discoidal sendo no entanto significativa a percentagem de blocos de forma esferoidal registada (figura 5.56).

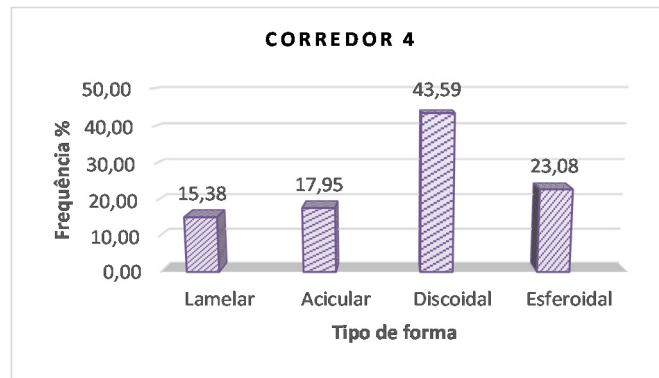


Figura 5.55 – Representação dos tipos de forma para o Corredor 4.

Um outro aspeto a ter em consideração é que no Perfil 1 se evidencia em maior percentagem o número de rochas de forma esferoidal, comparativamente com o Corredor 2 (figura 5.57).

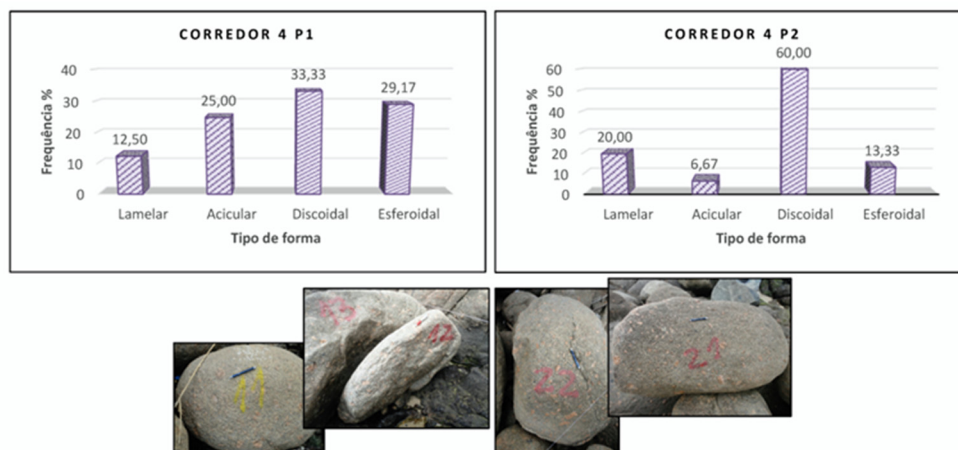


Figura 5.56 – Representação dos tipos de forma para o Corredor 4 por perfil e alguns exemplos dos blocos observados.

A tabela 5.21 representa um resumo do trabalho de campo realizado em termos de corredores estudados, perfis realizados, número de blocos inventariados e o número total de disparos (25 x nº de blocos).

Tabela 5.21 – Síntese de resultados.

Tabela Resumo						
Corredor	Perfil	Direção	Nº Blocos/ Perfil	Nº Perfis / Corredor	Nº Blocos / Corredor	Nº Disparos
1	1	N300E	62	1	62	1550
2	1	N238E	39	3	86	2150
	2	N340E	25			
	3	N294E	22			
3	1	N330E	20	3	59	1475
	2	N200E	25			
	3	N318E	14			
4	1	N182E	24	2	39	975
	2	N248E	15			
TOTAL			246	9	246	6150

5.3.3. Perfis de praia

Realizaram-se dois perfis de praia, Perfil 1 e Perfil 2, localizados no Corredor 1 e Corredor 4, respetivamente (figura 5.58). Através da análise dos mesmos é possível observar as dimensões dos blocos existentes e outros aspetos relevantes como a cobertura sedimentar ou presença de áreas arenosas. Desta forma, identificam-se facilmente as rochas grosseiras (CB), muito grosseiras (VCB) e blocos de grandes dimensões, denominados blocos finos (FB).

Salientam-se também os diferentes tipos de acumulação de blocos rochosos observados (segundo a descrição de Pérez-Alberti et al., 2012): i) corredores de blocos bem definidos e imbricados em direção ao movimento das ondas; ii) blocos rochosos imbricados e erodidos, sendo a massa dos blocos predominantemente inferior a 1 tonelada; iii) caos de blocos, sendo comum a disposição desordenada de blocos rochosos, que se apresentam maioritariamente erodidos e arredondados. É importante referir que apesar da existência de blocos rochosos imbricados e com evidências significativas de erosão, verificam-se também blocos rochosos imbricados e com poucos sinais deste fenómeno, sendo efetivamente de dimensões superiores aos anteriores.

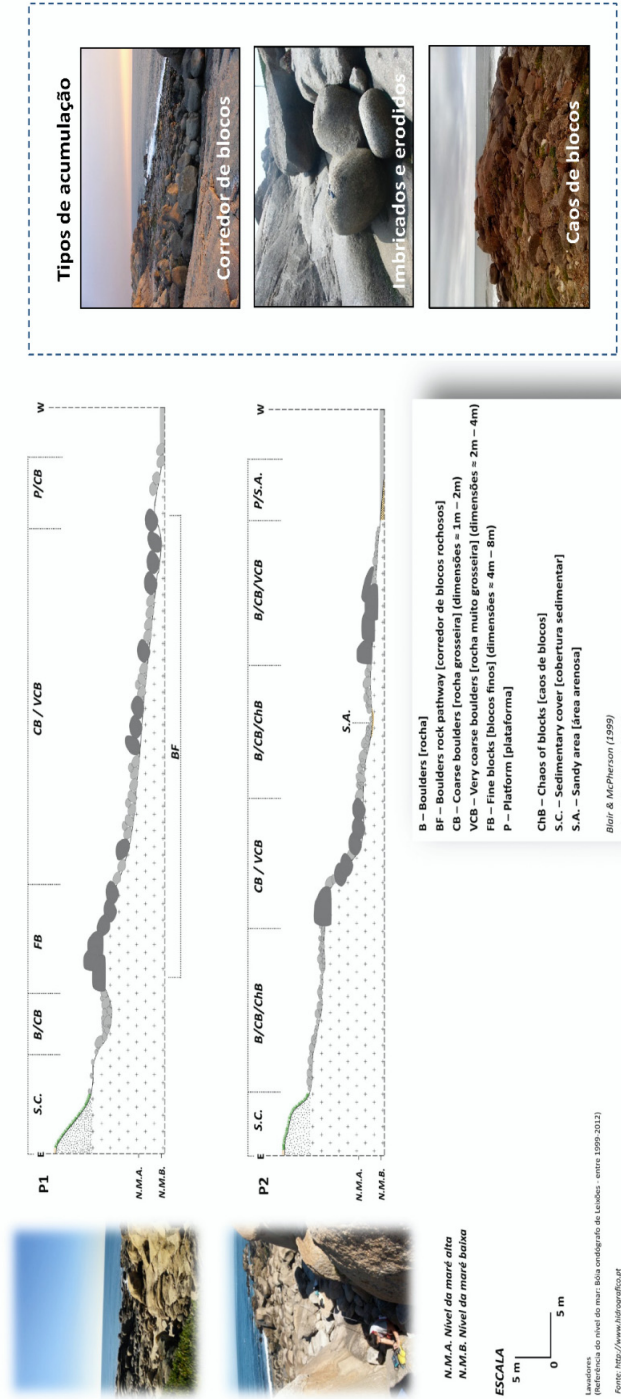


Figura 5.57 – Representação esquemática dos perfis de praia P1 e P2, localizados nos corredores 1 e 4, respetivamente, e tipos de acumulação de blocos identificados ao longo dos corredores.

5.3.4. Análise crítica de resultados e proposta de zonamento de blocos rochosos

Através de uma abordagem preliminar de zonamento, foi realizada uma proposta para a caracterização e avaliação dos blocos rochosos estudados, tendo em conta diversos parâmetros e aspetos relevantes, a saber: características geológicas e geomecânicas; geometria e forma dos blocos; inspeções visuais efetuadas; distinção dos corredores e tipo de acumulação de blocos; dinâmica litoral. Todos estes parâmetros e aspetos foram tidos em conta na realização da cartografia temática aqui apresentada e que representa uma abordagem ainda preliminar e que inclui a avaliação dos geomateriais e seu posicionamento/comportamento ao longo dos corredores e do sector rochoso, incluindo a plataforma. Foram então destacadas e identificadas três zonas distintas, sendo elas ZBR 1, ZBR2 e ZBR3 (figura 5.59).

Através da análise dos resultados do Martelo de Schmidt (ressalto/rebound) e Equotip (dureza/HLD), aliado à inventariação e identificação visual dos blocos de forma pormenorizada, é possível retirar algumas conclusões:

- ZBR1: evidencia um tipo de bloco de grão médio a grosseiro, sendo frequentes resistências e graus de alteração inferiores às determinadas nas restantes zonas, o que parece significar que o granito aqui presente se encontra sujeito a processos mais químicos; a massa dos blocos é geralmente de 1 a 4 toneladas;
- ZBR2: apresenta valores intermédios de resistência e o granito apresenta geralmente grão médio, encontrando-se por vezes blocos de grandes dimensões (VCB);
- ZBR3: apresenta os valores mais altos de resistência, sendo os granitos mais polidos pela ação mecânica das ondas, sendo visível o grão médio.

De um modo geral, verifica-se que à medida que se percorre no sentido da costa para o mar (E-W), existe um aumento de resistência, devido essencialmente à ação erosiva do mar, e os graus de alteração variam de W_{3-4} a W_{1-2} . A plataforma rochosa, por sua vez, apresenta valores de ressalto relativamente superiores aos registados para os blocos rochosos, com grão fino, sendo considerada uma rocha sã (W_1). No que diz respeito aos diagramas de rosetas, verifica-se para cada corredor os azimutes predominantes: (i) Corredor 1 – N 200° - 240°; (ii) Corredor 2 – N 120° 150° e N 170° - 200°; e (iii) Corredor 3 - N 130° - 150°; e (iv) Corredor 4 - N 240° - 260°.

Foi então proposto o mapa temático presente na figura 5.59 que engloba todos os aspetos aqui expostos numa tentativa ainda preliminar, de zonamento de geomateriais ao longo do sector rochoso de Lavadores.

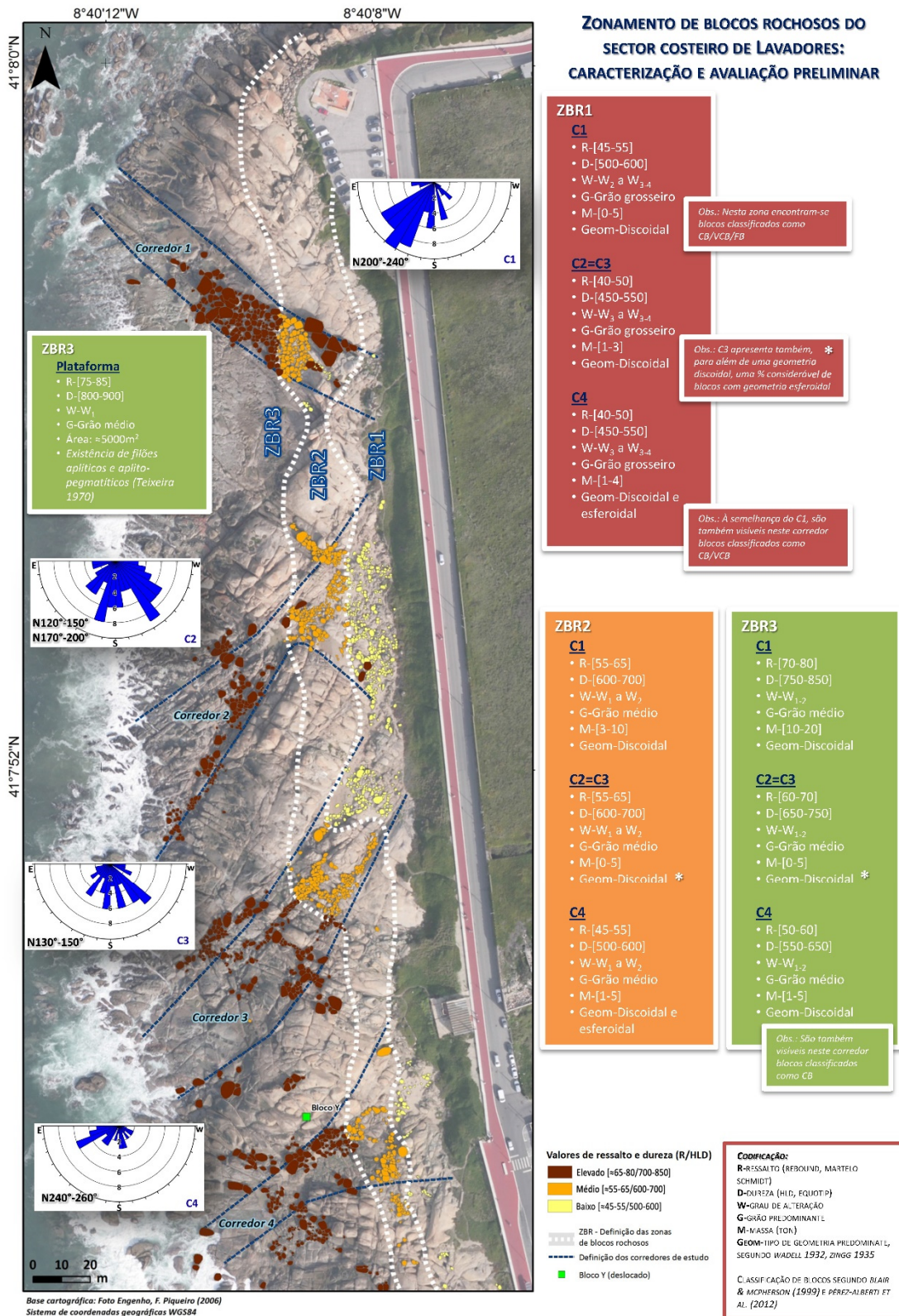


Figura 5.58 – Proposta de zonamento de blocos rochosos do sector costeiro de Lavadores: caracterização e avaliação preliminar.

5.4. Estudo de mobilidade

5.4.1. Breve introdução

Neste estudo pretende-se determinar as alturas de onda mínimas (e velocidades) para a movimentação de um bloco rochoso localizado no Corredor 4, ao qual se denomina bloco Y. Para blocos de elevadas dimensões (1 a 6 m de comprimento) são necessárias energias de transporte/deslocamento elevadas, as quais são alcançadas através de elementos de grande magnitude (Nott, 1997, 2003). Assim, o bloco Y, de dimensões 2,6×1,5×0,9 (m³), é elegível para este estudo, tendo-se registado fotograficamente evidências da sua mobilidade (entre 2010-2014). Este não era observável em 2010, tendo-se visualizado no decorrer dos trabalhos de campo em 2012 e, posteriormente, em 2014 já em local diferente (figura 5.60).

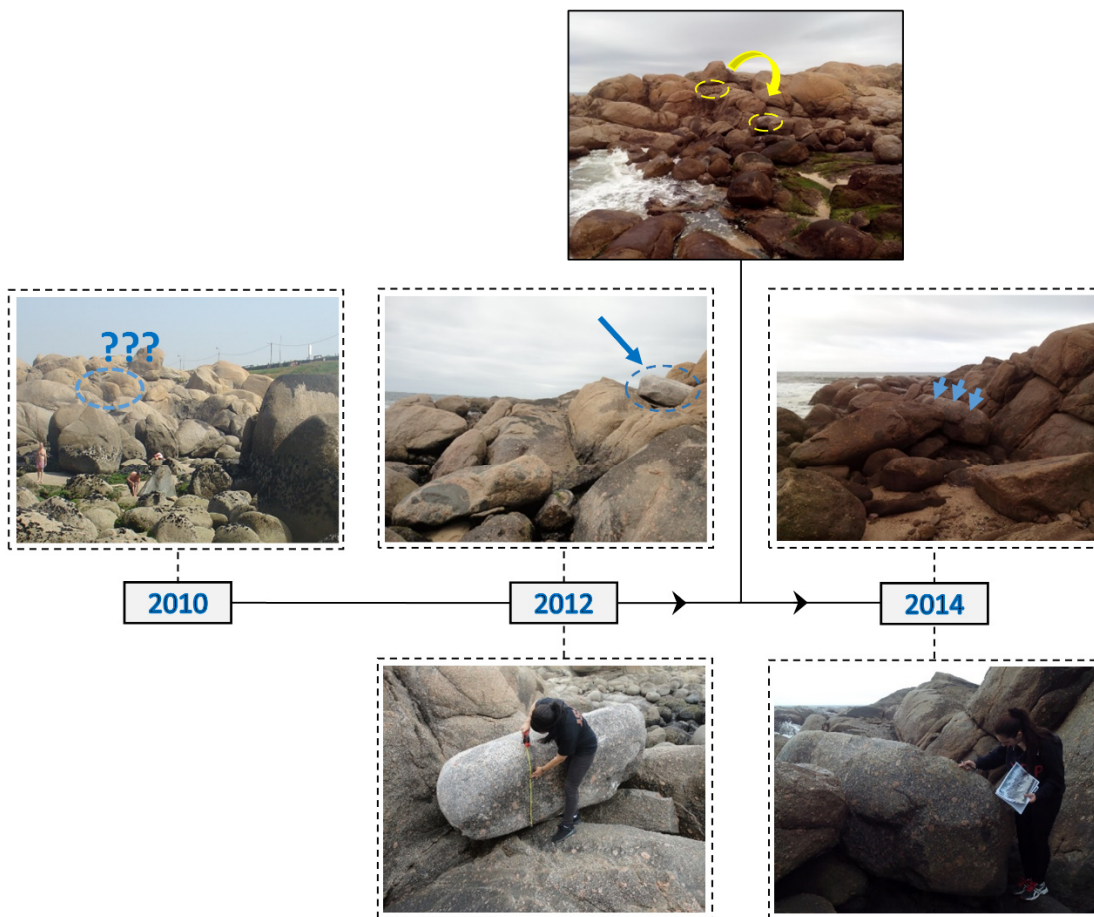


Figura 5.59 – Representação da movimentação do bloco Y entre 2012-2014 (praia de Lavadores).

Relativamente à sua posição de origem, apesar de ser difícil a sua determinação, existem indícios físicos que auxiliam a compreender o estudo da sua mobilidade: (i) o bloco não apresenta descoloração nem superfícies frescas, características usuais na zona de arrancamento quando se verifica pouco tempo de exposição; e (ii) a cor do bloco granítico Y (azulada) é distinta dos restantes

granitos observáveis na zona de estudo (figura 5.61). Neste sentido, supõe-se que o bloco se encontrava submerso e terá sido transportado para a plataforma no período de 2010-2012.



Figura 5.60 – Representação da tonalidade distinta do bloco Y.

Após uma exaustiva revisão da literatura, verifica-se que diversos autores recorrem a equações hidrodinâmicas com o intuito de determinar possíveis cenários para o aparecimento/transporte de determinados blocos constituintes de diversas acumulações rochosas (e.g. Noormets et al., 2004; Goto et al., 2006, 2007; Imamura et al., 2008; Lorang, 2011; Stephenson & Naylor, 2011), alguns atribuindo, inclusive, a sua ocorrência a fenómenos de elevada magnitude, como referido anteriormente.

Através da aplicação de diferentes aproximações, efetuando uma comparação de resultados e respetiva análise crítica, procura-se determinar, através da caracterização do regime de agitação do local, quando poderão ter ocorrido os deslocamentos do bloco.

Desta forma, elegem-se os estudos de Nott (1997, 2003), Nandasena et al. (2011) e a fórmula empírica de Hudson (1953, 1959), sendo esta última geralmente utilizada para determinação da massa dos blocos do manto resistente de um quebra-mar.

5.4.2. Adaptação do estudo de Jonathan Nott (1977)

Nott (1997) propõe o cálculo de alturas de onda, de tsunamis e de tempestades (“cyclones” – associado a ventos fortes), para o cenário de um bloco submerso previamente ao transporte.

No caso das **ondas de tempestade**, para se iniciar o transporte de um bloco rochoso é necessário que se verifique a seguinte condição:

$$F_d + F_l \geq F_r$$

Assim, o movimento realiza-se quando a soma do momento das forças de arrasto (F_d – “drag”) e de levantamento (F_l – “lift”) for superior ao momento da força de restrição (F_r – “restraining”).

$$F_d = [0.5\rho_w C_d(ac)u^2]c/2$$

$$F_l = [0.5\rho_w C_l(bc)u^2]b/2$$

$$F_r = (\rho_s - \rho_w)(abc)gb/2$$

Após simplificações e, introduzindo a componente de velocidade $u = 0.5\sqrt{gh}$, obtém-se para o cálculo de altura de onda, a seguinte equação e dados, apresentados na tabela 5.22.

Tabela 5.22 – Cálculo da altura de onda (H_s).

$H_s \geq (\rho_s - \rho_w/\rho_w) \left(\frac{8a}{C_d \frac{ac}{b^2} + C_l} \right)$ <p>Resultado: $H_s \geq 24,1$ m</p>	a (m) - eixo maior do bloco	2,6
	b (m) - eixo intermédio	1,5
	c (m) - eixo menor	0,9
	ρ_w (g/ml) - densidade da água	1,024
	ρ_s (g/cm ³) - densidade do bloco	2,65
	C_d - Coeficiente de arrasto “drag” recomendado	1,2
	C_l - Coeficiente de levantamento “lift” recomendado	0,178

Para o caso de transporte de blocos originados por **ondas tsunami**, Nott (1997) refere que, assim como descrito por Camfield (1980), o movimento se inicia quando se verifica a condição:

$$F_d c/2 + F_l b/2 \geq F_r b/2$$

Efetuada as respetivas deduções, tendo em consideração o parâmetro velocidade u , obtêm-se os valores presentes na tabela 5.23.

Tabela 5.23 – Cálculo da altura de onda (H_t).

$H_t \geq (\rho_s - \rho_w / 4\rho_w) \left(\frac{2a}{C_d \frac{ac}{b^2} + C_l} \right)$	a (m) eixo maior do bloco	2,6
	b (m) eixo intermédio	1,5
	c (m) eixo menor	0,9
	ρ_w (g/ml) densidade da água	1,024
	ρ_s (g/cm ³) densidade do bloco	2,65
	C_d Coeficiente de arrasto “drag” recomendado	1,2
	C_l Coeficiente de levantamento “lift” recomendado	0,178
Resultado: $H_t \geq 8,8$ m		

5.4.3. Adaptação do estudo de Jonathan Nott (2003)

Nott, em 2003, assumindo uma onda a rebentar, considerou três hipóteses distintas, nomeadamente bloco submerso, subaéreo e ligado por descontinuidades para os eventos de elevada magnitude previamente referidos (tsunami e tempestades “storm events”) (figura 5.62). Para o presente estudo, são apenas tidas em conta as hipóteses de cenários prévios ao transporte: bloco submerso e bloco subaéreo. Considera-se a impossibilidade do bloco granítico em análise ser oriundo de blocos ligados por descontinuidades, uma vez que este se destaca de todos os restantes pela sua distinta tonalidade azulada. Tal pode ser facilmente comprovado pela figura 5.61.

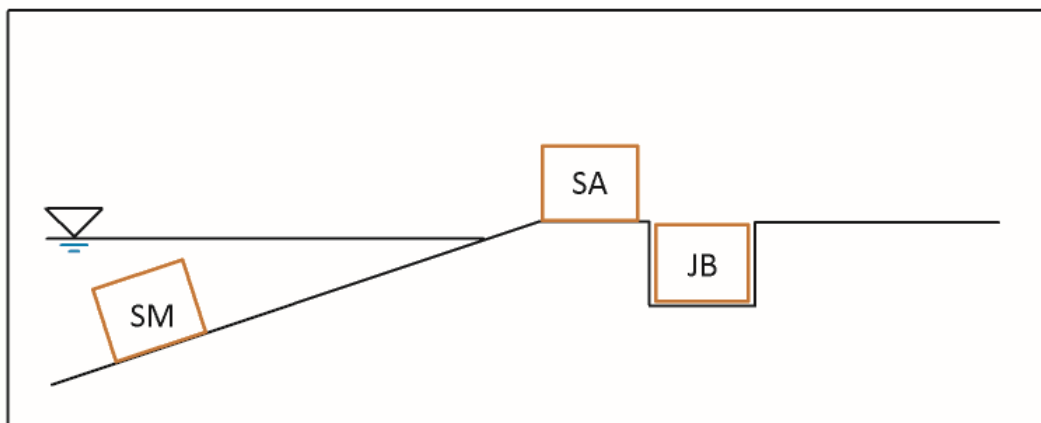


Figura 5.61 - Representação dos três tipos de cenário de pré-transporte (adaptado de Nandasena et al.,2011).

Assim como indicado em Nott (1997), a condição necessária para o transporte de um **bloco submerso** é:

$$F_d + F_l \geq F_r$$

Assim, mantendo-se a condição imposta em Nott (1997), o movimento realiza-se quando a soma do momento das forças de arrasto (F_d – “drag”) e de levantamento (F_l – “lift”) for superior ao momento da força de restrição (F_r – “restraining”).

$$F_d = [0.5\rho_w C_d(ac)u^2]c/2$$

$$F_l = [0.5\rho_w C_l(bc)u^2]b/2$$

$$F_r = (\rho_s - \rho_w)(abc)gb/2$$

Após simplificações e, introduzindo a componente de velocidade recomendada por Nott (2003), $u = \sqrt{gh}$, obtém-se para o cálculo de altura de onda, as seguinte equações e dados, presentes na tabela 5.24.

Tabela 5.24 – Cálculo das alturas de onda H_tSM e H_sSM para o cenário de bloco submerso (SM).

$H_tSM \geq \frac{0.25 (\rho_s - \rho_w/\rho_w) 2 a}{C_d \frac{a c}{b^2} + C_l}$	a (m) eixo maior do bloco	2,6
	b (m) eixo intermédio	1,5
	c (m) eixo menor	0,9
$H_sSM \geq \frac{(\rho_s - \rho_w/\rho_w) 2 a}{C_d \frac{a c}{b^2} + C_l}$	ρ_w (g/ml) densidade da água	1,024
	ρ_s (g/cm ³) densidade do bloco	2,65
	C_m Coeficiente de massa	2
	C_d submerso Coeficiente de arrasto “drag” recomendado	2
	C_l Coeficiente de levantamento “lift” recomendado	0,178
Resultado: $H_tSM \geq 0,9$ m		
Resultado: $H_sSM \geq 3,8$ m		
	g (m/s ²) aceleração da gravidade	9,81

Por sua vez, a condição necessária para o transporte de um **bloco subaéreo** é:

$$F_d + F_l + F_m \geq F_r$$

$$F_m \text{ (força da inércia)} = \rho_w C_m (abc) \ddot{u}$$

A diferença que se verifica nesta condição, comparativamente ao transporte de um bloco submerso, consiste na adição da componente da força de inércia (F_m), sendo que o bloco subaéreo não é suportado por água. Consequentemente, após o primeiro impacto de onda, durante um período de 1 a 2 segundos, o bloco experimenta a aceleração do fluxo de água (\ddot{u}). A tabela 5.25 representa o resumo dos resultados obtidos.

Tabela 5.25 – Cálculo das alturas de onda H_tSA e H_sSA para o cenário de bloco submerso (SA).

$H_tSA \geq \frac{0,25 (\rho_s - \rho_w / \rho_w) \left(2a - C_m \frac{a}{b} \frac{\ddot{u}}{g} \right)}{C_d \frac{ac}{b^2} + C_l}$	a (m) eixo maior do bloco	2,6
	b (m) eixo intermédio	1,5
$H_sSA \geq \frac{(\rho_s - \rho_w / \rho_w) \times \left(2a - 4 C_m \frac{a}{b} \frac{\ddot{u}}{g} \right)}{C_d \frac{ac}{b^2} + C_l}$	c (m) eixo menor	0,9
	ρ_w (g/ml) densidade da água	1,024
Resultado: $H_tSA \geq 1,2$ m	ρ_s (g/cm ³) densidade do bloco	2,65
Resultado: $H_sSA \geq 3,6$ m	C_m Coeficiente de massa	2
	C_d submerso Coeficiente de arrasto “drag” recomendado	2
	C_l Coeficiente de levantamento “lift” recomendado	0,178
	g (m/s ²) aceleração da gravidade	9,81

5.4.4. Adaptação do estudo de Nandasena et al. (2011)

Nas investigações de Nandasena et al. (2011) as equações de Nott (2003) são revistas para os três cenários possíveis de pré-transporte (bloco submerso [“submerged block”], bloco subaéreo [“subaerial block”] e blocos ligados por discontinuidades [“joint bounded block”]), sendo apresentadas nesta adaptação as alterações para bloco submerso e bloco subaéreo. No primeiro caso, a área de elevação/levantamento (“lift”) sofreu alterações e, conseqüentemente, a respetiva força (F_l). Para o segundo caso, esta área também é alterada e, ainda, é eliminada a força de inércia, anteriormente utilizada por Nott (2003). Como se pode verificar na figura 5.63, a área de elevação “lift” difere de $c \times b$ (Nott, 1997) para $a \times b$ no estudo de Nandasena et al. (2011) (sendo a,b,c eixos do bloco), sendo a área de arrasto “drag” considerada a mesma.

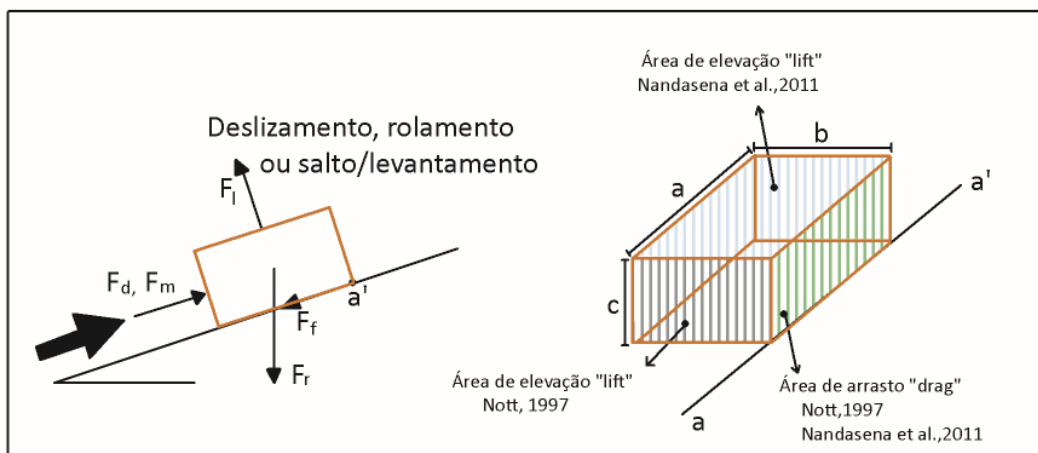


Figura 5.62 – Representação das áreas de elevação (“lift”) e arrasto (“drag”) (adaptado de Nandasena et al., 2011).

Tendo em conta estas considerações, determinam-se as forças e momentos através das equações presentes na tabela 5.26.

Tabela 5.26 – Equações para determinação de forças e momentos.

Força e momento de arrasto	Força e momento de levantamento
$F_d = 0.5\rho_w C_d(ac)u^2$ $M_d = F_d\left(\frac{c}{2}\right)$	$F_l = 0.5\rho_w C_l(ab)u^2$ $M_l = F_l\left(\frac{b}{2}\right)$
Força e momento de inércia	Força e momento de restrição
$F_m = \rho_w C_m(abc)\ddot{u}^2$ $M_m = F_m\left(\frac{c}{2}\right)$	$F_r = (\rho_s - \rho_w)(abc)g$ $M_r = F_r(b \cos \theta + c \sin \theta)/2$

Nota: O braço do momento de restrição M_r resulta do somatório da projeção das dimensões b em c, segundo o eixo x.

Tendo em conta que a velocidade do fluxo, forma e peso do bloco e atrito influenciam o modo de transporte (Goto & Imamura, 2007 in Nandasena et al., 2011) é executado um estudo que tem em conta o modo de transporte inicial (deslizamento “sliding”, rolamento “rolling”, salto/levantamento “saltation”) na equação da velocidade.

Por exemplo, para a situação de rolamento, como transporte inicial, e tendo em conta as equações de Nott, revistas por Nandasena et al. (2011), tem-se que: para iniciar o transporte de um **bloco rochoso submerso** é necessário que se verifique a seguinte condição:

$$M_d + M_l \geq M_r$$

A partir desta condição, Nandasena et al. (2011) deduz a velocidade mínima de onda (u) para se dar início ao movimento, obtendo:

$$u^2 \geq \frac{2\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right)gc\left(\cos\theta + \frac{c}{b}\sin\theta\right)}{C_d\frac{c^2}{b^2} + C_l}$$

No caso de um **bloco subaéreo**, para que se inicie o movimento é necessário, por sua vez, a seguinte condição:

$$M_d + M_l + M_m \geq M_r$$

Ao contrário de Nott (2003), onde na equação anterior é utilizada uma força de inércia (F_m) no somatório de momentos, em Nandasena et al. (2011) esta é substituída pelo momento de inércia (M_m), sendo este o raciocínio mais correto.

Apesar disto, os resultados obtidos por Nandasena et al. (2011), conduziram a contradições que inviabilizaram a nova equação proposta, tendo sido recomendada a utilização da equação apresentada para a condição de bloco submerso para ambas as hipóteses se bloco submerso e subaéreo.

Na tabela 5.27 são apresentas quais as condições a verificar para cada tipo de transporte inicial e a partir das quais se deduzem as equações da velocidade. Os parâmetros envolvidos no cálculo destas equações estão discriminados na tabela 5.28.

Tabela 5.27 – Relação do tipo de transporte inicial e velocidade de fluxo.

	Condição a verificar	Velocidade	
Deslizamento	$F_d \geq F_f + F_r \sin \theta$ $F_f = \mu_s (F_r \cos \theta - F_l)$	$u^2 \geq \frac{2 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) g c (\mu \cos \theta + \sin \theta)}{C_d \frac{c}{b} + \mu_s C_l}$	$u \geq 5,1 \text{ m/s}$
Rolamento	$M_d + M_l \geq M_r$	$u^2 \geq \frac{2 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) g c \left(\cos \theta + \frac{c}{b} \sin \theta \right)}{C_d \frac{c^2}{b^2} + C_l}$	$u \geq 5,7 \text{ m/s}$
Salto/Levantamento	$F_l \geq F_r \cos \theta$	$u^2 \geq \frac{2 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) g c \cos \theta}{C_l}$	$u \geq 12,5 \text{ m/s}$

Nota: μ_s = coeficiente de fricção estática e μ = viscosidade dinâmica ($1,155 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2 \times 10^{-3}$ a aproximadamente 15°C)

Tabela 5.28 – Parâmetros utilizados para cálculo de velocidade.

Dados	
b (m) eixo intermédio	1,5
c (m) eixo menor	0,9
ρ_w (g/ml) densidade da água	1,024
ρ_s (g/cm ³) densidade do bloco	2,65
μ viscosidade dinâmica	1,155
μ_s coeficiente de fricção estática	0,7
C_d - Coeficiente de arrasto “drag” recomendado	1,95
C_l - Coeficiente de levantamento “lift” recomendado	0,178
g (m/s ²) aceleração da gravidade	9,81
Θ inclinação	3

5.4.5. Adaptação do estudo de Hudson (1953, 1959)

Hudson desenvolveu uma equação direcionada a quebra-mares, que permite a obtenção da massa dos blocos do manto resistente. Esta equação foi obtida através da realização de um conjunto de experiências laboratoriais, considerando ondulação regular e estruturas de enrocamento sem galgamento e de núcleo permeável (CIRIA et al., 2007).

$$W_{50} = \frac{\rho_r g H^3}{K_d \Delta^3 \cot \alpha}$$

Para o presente estudo, como um dos parâmetros de entrada da equação/ fórmula de Hudson é a altura de onda, então, esta pode ser reescrita em ordem a H, obtendo-se:

$$H^3 = \frac{W_{50} K_d \Delta^3 \cot \alpha}{\rho_r g}$$

Com efeito, poderá ser determinada a altura de onda fazendo variar o coeficiente de estabilidade (K_d). Este coeficiente depende da permeabilidade do manto, localização (perfil corrente ou cabeça; dentro ou fora da zona de rebentação de onda), tipo, forma, colocação, rugosidade, encaixe do bloco e número de camadas.

Os valores deste coeficiente empregues neste estudo são apresentados na tabela 5.29, a qual constitui um conjunto de sugestões disponibilizadas por USACE (1984).

Tabela 5.29 – Tipos de coeficiente K_d sugeridos (adaptado de USACE, 1984, Sorensen, 2006).

Tipo de Bloco	Perfil Corrente		Cabeça	
	Dentro da Zona de Rebentação	Fora da Zona de Rebentação	Dentro da Zona de Rebentação	Fora da Zona de Rebentação
Natural, liso e arredondado	1,2	2,4	1,1	1,9
Natural, rugoso e irregular	2,0	4,0	1,6	2,8
Enrocamento	2,2	2,5	-	-
Dolo	15,8	31,8	8,0	16,0
Tetrápode	7,0	8,0	4,5	5,5

Os valores de K_D sombreados na tabela anterior constituem aqueles considerados no cálculo da altura de onda. Admitiu-se que o bloco estaria na cabeça do molhe, sendo esta a zona de maior exposição e foram tidos em conta os cenários possíveis: dentro e fora da zona de rebentação.

Assim, obtiveram-se os valores de **H iguais a 7,5m e 9,1m**, para dentro e fora da zona de rebentação, respetivamente. Os parâmetros utilizados para o seu cálculo, assim como equações auxiliares envolvidas, apresentam-se na tabela 5.30.

Tabela 5.30 – Síntese de parâmetros e equações auxiliares.

Dados		Equações auxiliares
ρ_r (km/m ³) densidade do bloco	2650	$W_{50} = \rho_r g (D_{n50})^3$
ρ_w (km/m ³) densidade da água	1024	
g (m/s ²) aceleração da gravidade	9,81	
K_D dentro zona rebentação	1,60	$\Delta = \frac{\rho_r}{\rho_w} - 1$
K_D fora zona rebentação	2,80	
Δ densidade relativa	1,59	$D_{n50} = \left(\frac{M_{50}}{\rho_r}\right)^{1/3}$
α (°) inclinação da superfície	3,00	
M_{50} (kg) massa do bloco	9301,50	
D_{n50} (diâmetro nominal do bloco)	1,52	
W_{50} (N) peso médio do enrocamento	91247,72	

5.4.6. Análise crítica aos resultados obtidos pelas diferentes adaptações

A costa Portuguesa apresenta risco moderado de inundação por tsunami induzido no domínio Atlântico designado por banco de Gorringe, o qual se situa próximo à falha transformante entre as placas africana e euro-asiática (Oliveira et al., 2011). O mais notável e devastador tsunami registado, até ao momento, em Portugal, resulta do terramoto de Lisboa de 1755, tendo os seus efeitos sido mais acentuados em Lisboa, Algarve, Açores e Golfo de Cádiz. Existem registos obtidos por via instrumental e por relatos históricos de tsunamis gerados por terremotos, para um período de 2000 anos (Simões et al., 1992 in Oliveira et al., 2011). A costa oeste de Portugal caracteriza-se, também, por ser uma zona exposta às tempestades geradas no Atlântico e onde as ondas geradas pelo vento apresentam padrões de energia elevados (INETI et al., 1997 in Oliveira et al., 2011).

A escolha da origem da movimentação de blocos continua ainda, hoje, um processo difícil de avaliar e cuja opinião difere de autor para autor (Noormets et al., 2004; Goto et al., 2009; Oliveira et al., 2011). Contudo é um estudo essencial para salvaguardar a vida e todo o património edificado, através da elaboração de mapas de aviso ao perigo existente. Enquanto uma tempestade poderá ser detetada facilmente, dando o tempo necessário para serem adotadas todas as medidas preventivas, um tsunami representa um fenómeno da natureza, caracterizado por uma imensa energia, que pode atingir a costa sem aviso prévio (Lorang, 2000). Face a este fenómeno, foram já adotadas providências no sentido de criar um sistema de alerta de tsunami no Atlântico Nordeste e Mediterrâneo, o qual se encontra ativo desde 2013 e permite o aviso de aproximação de tsunami com alguns minutos de antecedência (Firmino, 2013).

No presente estudo, avaliam-se os valores das alturas de ondas obtidas pelas equações hidrodinâmicas de Nott 1997 e 2003, comparando-as com as alturas de ondas registadas e, ainda, com os fenómenos da natureza registados nos períodos de tempo considerados. Além das equações hidrodinâmicas propostas por este autor, existem também outras, como, por exemplo aquelas propostas por Noormets et al. (2004). O caso em estudo apresenta ainda uma aplicação da equação empírica de Hudson (1959). Um outro método de avaliação do modo como é efetuado o transporte do bloco em relação à sua origem é proposto por Mastronuzzi (2006) e envolve considerações morfológicas.

Mais ainda, uma outra forma de avaliar o transporte de blocos rochosos parte de uma observação de Noormets et al. (2004), em que o período de onda relativo a um tsunami, mostra-se superior àquele referente a uma tempestade “cyclone”. Por outras palavras, um tsunami é capaz de transportar um bloco durante um período de tempo superior a uma tempestade e, por isso, a uma distância superior. Neste sentido, Barbano et al. (2010), sugere a determinação da altura de onda necessária para transportar um bloco numa posição mais interior do depósito e comparação com o limite de transporte registado para outros blocos rochosos, na hipótese de tempestade. Desta forma, pode-se afirmar que todos os blocos situados além do limite de transporte registado para a tempestade mais gravosa são movimentados por ondas com maior período - tsunamis. Como as equações de Nott não têm em consideração a distância de transporte, esta é, sem dúvida, uma análise complementar a ter em conta. Contudo, este método de avaliação não pode ser empregue ao presente caso de estudo, uma vez que a distância de transporte de bloco é relativamente pequena, além de que, o bloco se encontra perto da linha de água. Com efeito, a hipótese de tempestade não poderia ser excluída.

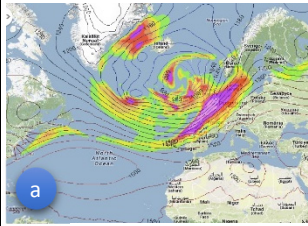
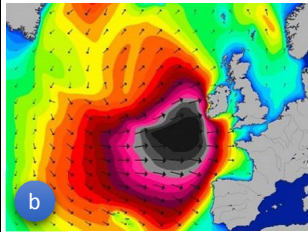
Na tabela 5.31 são apresentados os valores de altura de onda com maior amplitude atingidos no setor de estudo para os intervalos de tempo de 2010/12 e 2012/14, sendo os valores máximos atingidos de 8,8 e 10,2m, respetivamente.

Tabela 5.31 – Alturas de onda e período de vaga mais relevantes entre 2010/14 (Windguru, 2014).

GFS 50 Km	Ondulação (m)								Período de vaga (s)							
	01h	04h	07h	10h	13h	16h	19h	22h	01h	04h	07h	10h	13h	16h	19h	22h
16.02.2011	5,9	5,8	5,8	6	6,3	7	7,8	8,5	16	16	16	16	16	15	16	16
17.02.2011	8,8	8,5	7,9	7,1	6,3	5,7	5,2	4,7	16	16	16	15	15	15	14	14
19.12.2013	4,5	4,6	5,2	6,2	6,6	6,8	7	6,7	14	14	15	16	16	15	15	15
20.12.2013	6,4	6	5,7	5,5	5,4	5,4	5,4	5,2	15	15	14	14	14	14	15	17
21.12.2013	4,9	4,7	4,5	4	4,1	4,4	5,4	6,1	17	17	17	16	16	16	18	18
22.12.2013	6,2	6	5,7	5,5	5,2	5	5	4,9	19	18	18	17	16	16	16	15
23.12.2013	4,8	4,6	4,4	4,2	4,1	4,1	4,5	4,9	15	15	14	14	14	14	13	13
24.12.2013	5,3	5,8	6,6	7,2	7,4	7,4	7,5	7,4	14	14	14	14	14	15	15	15
25.12.2013	7,3	7,4	7,5	7,7	8,1	8,4	8,5	8,2	15	15	15	15	15	15	16	17
26.12.2013	7,7	7,2	6,7	6,2	5,7	5,3	5	4,7	17	16	16	16	15	15	15	15
27.12.2013	4,5	4,3	4,3	4,3	4,3	4,7	5,3	5,5	14	14	14	13	13	13	14	15
01.01.2014	6	6	5,9	5,6	5,5	5,6	5,9	5,9	16	16	16	16	16	16	15	15
02.01.2014	5,8	5,6	5,3	5,1	4,9	4,7	4,5	4,3	15	14	14	14	14	14	13	13
03.01.2014	4,1	4	4	4,7	5,9	6,5	6,6	6,6	13	13	13	14	17	16	16	16
04.01.2014	6,8	7,2	7,7	8,8	8,8	8,3	7,8	7,3	16	16	16	15	15	16	16	16
05.01.2014	6,8	6,5	6,2	6	5,7	5,5	5,4	5,3	16	16	16	16	15	15	15	14
06.01.2014	5,3	5,6	7,1	9,3	10,2	10	9,5	8,9	14	14	18	23	22	21	20	20
07.01.2014	8,3	7,8	7,2	6,7	6,2	5,8	5,4	5,1	19	19	18	18	17	16	16	16

Os valores representados a sombreado na tabela 5.31 representam os valores máximos observados nos períodos de tempo em estudo, tendo sido feita uma procura de eventos que pudessem justificar tais grandezas. O resultado desta pesquisa é apresentada na tabela 5.32.

Tabela 5.32 – Eventos registados para os dados mais significativos da tabela 5.29 (imagens retiradas de: a - Wettergefahren, 2014; b - The Independent, 2014).

Data	Evento	Foto-documentação
16.02.2011	Além da agitação marítima de noroeste, verificou-se um alerta de vento forte, precipitação e queda de neve em Portugal (LUSA, 2011).	-
17.02.2011		
25.12.2013	A tempestade Dirk formou-se na América do Norte, tendo, posteriormente, se movido para o Atlântico. Verificaram-se como efeitos em Portugal: fortes chuvas, vento e quedas de neve (Moutinho, 2014).	
04.01.2014	Tornado ocorrido em Paredes resultando na agitação marítima por células convectivas e na queda de granizo/saraiva no Porto (IPMA, 2014).	-
06.01.2014 07.01.2014	A tempestade Hércules, cuja origem relaciona-se com um sistema extremo de baixas pressões no oceano Atlântico, caracterizou-se não só pelas suas alturas de ondas elevadas mas também por períodos de onda longos (como aqueles que se verificam para os tsunamis) (Withnall, 2014; Coentrão, 2014).	

Apresentam-se também todos os valores calculados pelas equações referidas, numa tabela resumo (tabela 5.33).

Tabela 5.33 – Hipótese considerada e parâmetro(s) retirado(s): tabela resumo.

Parâmetro	Condição	Autor(es)			
		Nott, 1997	Nott, 2003	Nandasena et al., 2011	Hudson, 1959
H _t (m)	Bloco Submerso	8,8	0,9	-	-
	Bloco Subaéreo	-	1,2	-	-
H _s (m)	Bloco Submerso	24,1	3,8	-	-
	Bloco Subaéreo	-	3,6	-	-
H (m)	Dentro da Zona de Rebentação	-	-	-	7,5
	Fora da Zona de Rebentação	-	-	-	9,1
v (m/s)	Bloco Submerso	-	6,0	-	-
	Bloco Subaéreo	-	6,2	-	-
	Deslizamento	-	-	5,1	-
	Rolamento	-	-	5,7	-
	Salto	-	-	12,5	-

Nott 1997

As alturas de onda necessárias para mover o bloco, segundo as equações hidrodinâmicas de Nott (1997), são 24,1m (H_s) para uma tempestade e 8,8m (H_t) para um tsunami. A comparação destas equações com os registos dos marégrafos, relativos às alturas de onda verificadas durante os períodos de 2010/12 e 2012/14, sugerem à partida a impossibilidade do transporte do bloco granítico em estudo ter tido origem em tempestades “cyclones” quando comparados com os valores reais. Apesar de a costa Portuguesa ser uma zona exposta às tempestades do Atlântico, os valores obtidos para a altura de onda necessária para uma tempestade mover o bloco (24,1m) são irrealistas quando comparados com os valores reais máximos atingidos (8,8m e 10,2m), ou seja, valores inferiores a 50% da altura necessária para o movimentar. Por este motivo, esta hipótese não poderia ser validada pelas equações de Nott 1997.

O valor mínimo obtido pela equação hidrodinâmica de Nott (1997) para a hipótese de tsunami e o valor registado coincidem (8,8m). No entanto, tal não significa que: (i) foi no momento em foi feito o registo desta altura que o bloco se moveu; e (ii) que a sua movimentação tem origem num tsunami.

É necessário ter em conta que as equações hidrodinâmicas partem de uma série de pressupostos e considerações do próprio autor (como por exemplo coeficientes de arrasto e elevação e velocidade de onda gerada pelo vento) e que o valor obtido é apenas uma tentativa de aproximação à realidade. Com efeito, a altura de onda que moveu o bloco pode ter sido inferior a 8,8m.

Até aqui, os resultados apontariam para que a movimentação do bloco se devesse a um tsunami, o que é improvável. Este fenómeno pode ter a sua origem associada: (i) ao movimento das placas tectónicas e subsequentes terremotos; (ii) à atividade vulcânica; (iii) ao impacto de meteoros; e (iv) a eventos não sísmicos como deslizamentos submarinos (Bourgeois, 2009). A zona em estudo é caracterizada por ser uma área com sismicidade moderada (nível IV – Escala de Mercalli modificada 1956) e sem atividade vulcânica. Partindo do princípio que o bloco se moverá para as alturas de onda máximas apresentadas na tabela 5.29, e tendo em conta que estes registos apresentam, todos eles, ligação com tempestades documentadas (tabela 5.30), então a hipótese de tsunami não poderia também ser autenticada.

A melhor forma de aplicar as equações hidrodinâmicas consiste em comparar casos semelhantes, não só ao nível de resultados, mas também ao nível das condições proporcionadas pelo próprio local de estudo e registos. Todavia, a bibliografia atualmente disponível ainda carece de estudos detalhados que permitam esta comparação.

Por exemplo, na Austrália, a existência de um recife de corais paralelo à costa (apelidado de “Great Britain Reef” – GBR) poderá amplificar o efeito de um tsunami, uma vez que, durante a sua passagem, geram-se espaços vazios entre a onda e o recife, sendo que quanto maior a dimensão destes espaços, maior poderá ser a amplificação dos efeitos. Neste sentido, a altura de onda lida no marégrafo, poderá ser bastante inferior àquela obtida junto à costa (Nott, 1997). Esta análise constitui um exemplo de um elemento de apoio à resolução de casos semelhantes.

Nott 2003

Para as equações apresentadas por Nott (2003), são feitas alterações não só ao nível dos coeficientes utilizados em 1997, mas também nas próprias expressões propostas. Por exemplo, em 1997, Nott aplica uma conversão de velocidade em altura de onda que assume uma onda rebentada, enquanto em 2003 assume uma onda a rebentar. Mais ainda, a velocidade de um tsunami é admitida como sendo o dobro da velocidade de uma tempestade “cyclone”, o que segundo Lorang (2010) é incorreto. Fruto destas considerações geram-se valores de velocidades distintos, os quais influenciam as alturas de onda determinadas. Além disso, são incluídas as constantes de 0,25 e 4 nas fórmulas referentes a tsunamis (cenários submerso e subaéreo) e tempestades “cyclones” (cenário subaéreo), respetivamente (Nott, 2003). As considerações adotadas por Nott (2003) conduzem a cenários onde a altura de onda causada por uma tempestade “cyclone”, é sempre superior do que uma formada por um tsunami, o que nem sempre se verifica (Lorang, 2010). Goto et al. (2010), Paris et al. (2010) salientam a importância de utilizar estas fórmulas com cautela. Neste estudo, apresentado por Nott (2003), é também realçada a importância e a influência que a forma do bloco rochoso poderá ter na altura necessária para o transportar (por exemplo, a energia associada ao transporte de um bloco arredondado será inferior àquela referente a um bloco angular) (Nott, 2003).

Como já havia sido anteriormente referido, nestas equações, são introduzidos diferentes cenários, nomeadamente submerso, subaéreo e blocos ligados por discontinuidades para as hipóteses de tsunami e tempestade “cyclone”, sendo os dois primeiros aqueles que se apresentam relevantes para este estudo.

Pela abordagem de Nott (2003), para o cenário submerso e para as hipóteses tsunami e tempestade “cyclone” obtiveram-se valores de alturas de onda de 0,9m (H_t) e 3,8m (H_s), respetivamente. Já para o cenário subaéreo e para as hipóteses tsunami e tempestade “cyclone” obtiveram-se valores de alturas de onda de 1,2m (H_t) e 3,6m (H_s), respetivamente. Pode ser, desde já, constatado que os valores obtidos para as alturas de onda para a hipótese tsunami são superiores aos das tempestades “cyclones” (situação esta que se verifica sempre nas equações de Nott 2003).

Os resultados obtidos pelas equações de Nott em 1997 e 2003 não podem deixar de ser comparados, na medida em que se verifica uma diminuição acentuada dos valores obtidos das equações de 1997 para as de 2003. São vários os autores (Paris et al., 2009; Goto et al., 2010; Bourgeois & MacInnes, 2010; Oliveira et al., 2011) que constataram tal situação e que os consideraram subestimados.

De uma analogia entre as alturas de onda reais (tabela 5.29) e as alturas de ondas calculadas através das equações de Nott (2003), concluir-se-ia que o bloco sofreria movimentações frequentes, uma vez que os valores calculados são valores triviais/ comuns na costa portuguesa. Na verdade, tal frequência de movimentação, não é a abordagem mais correta a ter em consideração. Além disso, os resultados obtidos remetem para que qualquer uma das hipóteses (tsunami e tempestade “cyclone”) possa ser considerada como válida para o transporte do bloco. Segundo este ponto de vista, os resultados alcançados são inconclusivos.

Nandasena et al. (2011)

Os valores obtidos para os tipos de transporte inicial, nomeadamente deslizamento, rolamento e salto/levantamento são 5,1, 5,7 e 12,5 m/s, respetivamente. A velocidade mínima para iniciar o transporte corresponde ao menor valor determinado e, por isso, à situação de transporte por deslizamento. Contudo, a velocidade real não corresponde necessariamente à velocidade mínima. As equações para a determinação das velocidades mínimas que permitem o início do transporte de um bloco, segundo Nott 2003, para as hipóteses submersa e subaérea são apresentadas na tabela 5.34.

Tabela 5.34 – Síntese de resultados obtidos.

Bloco	Equação	Resultado
Submerso	$u^2 \geq \frac{2 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) ag}{C_d \frac{ac}{b^2} + C_l}$	$u \geq 6,0 \text{ m/s}$
Subaéreo	$u^2 \geq \frac{2 \left[\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) ag - 2C_m \frac{a}{b} \ddot{u} \right]}{C_d \frac{ac}{b^2} + C_l}$	$u \geq 6,2 \text{ m/s}$

A velocidade mínima necessária para iniciar o transporte é maior nas equações propostas por Nott (2003), tanto para os cenários submerso e subaéreo, comparativamente com as equações revistas por Nandasena et al. (2011). Para o cenário submerso verifica-se uma diminuição dos valores da

velocidade mínima na ordem dos 14,8%, os quais devem-se ao aumento da área de elevação/ levantamento de “ac” para “ab” nas equações reformuladas. Já para o cenário subaéreo esta diminuição é mais acentuada e atinge os 17,9%. Existem casos estudados por Nandasena et al. (2011) em que para as equações de Nott (2003) e cenário de bloco subaéreo, se obtêm velocidades negativas, sendo tais valores justificados pela incorreta utilização da força de inércia por este autor.

Além destas análises, Nandasena et al. (2011) sugere a criação de um histograma com as diversas velocidades mínimas para os três tipos de transporte considerados e para os blocos rochosos existentes, de modo a obter-se uma ferramenta de apoio a previsão do tipo de transporte de um determinado bloco para uma dada velocidade.

Segundo Noormets et al. (2004), enquanto o método mais comum de transporte de blocos de elevadas dimensões e irregulares é o deslizamento, aquele que conduz ao transporte de blocos de pequenas dimensões e arredondados é o rolamento. Investigações posteriores, realizadas por Imamura et al. (2008) e baseadas em experiências laboratoriais em canal aberto, permitiram inferir que o rolamento e salto/ levantamento são os métodos de transporte mais comuns para blocos caracterizados por uma forma cúbica ou paralelepípeda (Shah-hosseini, 2011).

Hudson (1953)

Uma abordagem alternativa para determinar a altura de onda necessária para o transporte de um bloco rochoso, consiste na aplicação da fórmula empírica de Hudson. Contudo, esta metodologia não permite a distinção do fenómeno que desencadeou o processo de transporte. Apenas poderá ser variado o parâmetro K_D de acordo com a localização do bloco. Neste sentido, obtiveram-se os valores de 7,5m e 9,1m para dentro e fora da zona de rebentação, respetivamente. Uma análise crítica destes resultados permite inferir que estes se aproximam mais daqueles obtidos com a conversão de Nott (1997), para a hipótese tsunami (8,8m), do que com aqueles obtidos para as equações de Nott (2003). É, também, evidente a proximidade dos valores obtidos pela fórmula aos valores máximos registados pelos marégrafos.

Contudo, é relevante ter em conta que a fórmula resultante parte das seguintes considerações: (i) admite a indestrutibilidade de blocos; (ii) despreza diversos fatores estruturais e hidrodinâmicos para as características do manto resistente e para a ação de agitação; e (iii) considera simplificações no valor obtido para a altura de onda (Taveira-Pinto, 2012).

Análise global

Tendo em conta que as tempestades observadas durante o intervalo de tempo em estudo se caracterizaram por alturas de onda elevadas e fortes períodos de onda, inclusive com invasão de zonas urbanas, e considerando que o bloco Y se moveu para as alturas máximas de onda observadas, então, é possível inferir que existe uma probabilidade imensa destes fenómenos terem sido responsáveis pela movimentação do bloco Y.

A equação de Hudson suporta que a movimentação do bloco é conseguida para as alturas máximas registadas, na medida em que os valores obtidos por cálculo empírico são próximos dos reais. Já as equações hidrodinâmicas de Nott (1997, 2003), à primeira vista, traduzem-se em resultados inconclusivos, uma vez que não foi possível verificar uma correlação direta com os fenómenos da natureza registados. Contudo, é interessante analisar que a equação de Nott (1997) para tsunami (8,8m) e as alturas máximas de onda registadas (entre 8m e 10m) apresentam valores pouco distantes. As tempestades características da costa portuguesa apresentam padrões de energia elevados, tendo até sido noticiado na comunicação social, que o período de onda observado para a Tempestade Hércules poderia ser equiparado a um período de onda de um tsunami. Deste modo, considera-se razoável admitir que a conversão de Nott (1997) para a hipótese tsunami é também aplicável a uma tempestade com estas características. Desta forma, as equações de Nott (1997) e Hudson (1959) apresentam indícios que nos remetem para a movimentação do bloco segundo o efeito de tempestades agressivas, caracterizadas por energias consideráveis.

5.5. Modelo conceptual proposto

Após a análise dos estudos realizados no setor costeiro de Lavadores salientam-se algumas considerações relevantes para a compreensão da dinâmica existente nesta costa rochosa. Na figura 5.64 é apresentada uma proposta muito preliminar para um sistema integrado em geociências costeiras que poderá contribuir com dados e informações, para um melhor conhecimento do sector costeiro de Lavadores em termos de dinâmica e geomorfologia costeiras, bem como na avaliação geomecânica dos materiais rochosos.

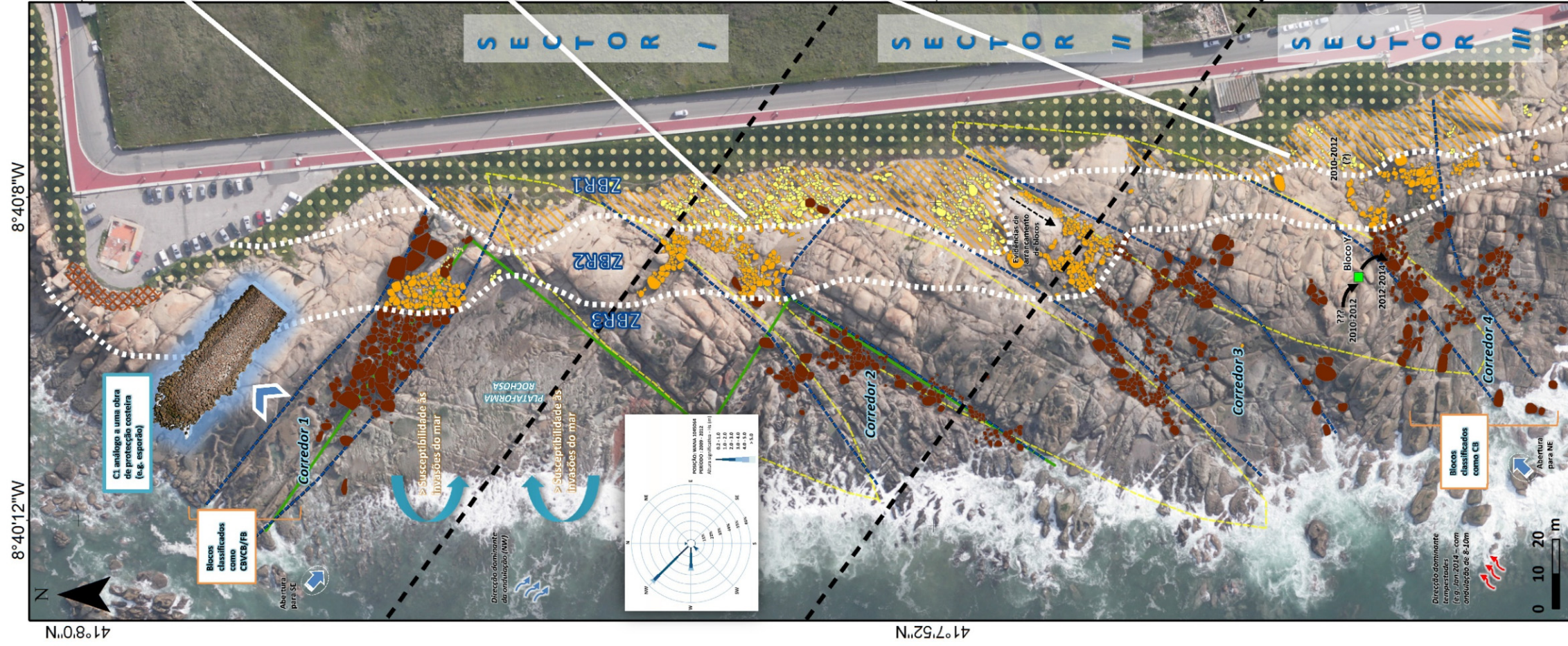
A configuração da costa, com grandes aberturas triangulares na plataforma rochosa no qual se encontram os Corredores 1 e 2, evidencia aparentemente um certo “escavamento” por parte da agitação marítima, oriunda de NW. No Corredor 1, inclusivamente, apesar de consistir numa área de abertura com elevada resistência, a plataforma rochosa reflete vulnerabilidades a ter em consideração: i) constitui um “espaço aberto”, existindo uma progressiva erosão na plataforma (de baixa altitude), por ação de energia das ondas; ii) na plataforma de elevada altitude, por sua vez, observa-se o funcionamento comparativo a uma obra aderente de proteção costeira. De facto, no

Corredor 1 verifica-se a existência de um corredor de blocos muito bem definido, encostado à plataforma a norte do sistema costeiro (de maior altitude), funcionando como uma estrutura de proteção longitudinal à costa (análogo ao funcionamento de um esporão com consequências em geotecnia costeira).

Nos Corredores 2 e 3, zonas mais centrais, verifica-se uma zona mais protegida da agitação, contrariamente ao Corredor 4 que se encontra na extremidade Sul seguida de uma zona arenosa e devido a esta configuração da costa é alvo das direções dominantes das tempestades (eventos de elevada magnitude) oriundas de SW. De facto, verifica-se que é neste corredor que existe maior mobilidade, tendo-se inclusive estudado a mobilidade de um bloco neste mesmo corredor, com grande probabilidade de movimentação devido às tempestades.

De um modo geral, consideram-se os Corredores 1 e 4 com maior dinâmica e mobilidade, enquanto os Corredores 2 e 3, por ocuparem posições mais centrais se considera que estejam mais protegidos da ação do mar. No entanto, verifica-se a ocorrência de caos de blocos nestes corredores centrais, possivelmente com origem de processos diferentes e provenientes da movimentação de blocos entre corredores, sendo comprovado pelas evidências de choques entre blocos/arrancamento, deixando a possibilidade de recriar um caminho de blocos (“boulders path”), sendo possível identificar até a origem do volume de rocha destacado. Outro aspeto de interesse é o facto de se identificar claramente a existência de blocos classificados como CB (“coarse boulders”), VCB (“very coarse boulders”) e, ainda FB (“fine boulders”), sendo estes últimos observados também a Sul da área de estudo do Corredor 4. Uma outra consideração constitui na equivalência, em termos de grau de alteração e características, das zonas definidas como ZBR1 (zona de blocos rochosos 1) e ZG (zona muito alterada).

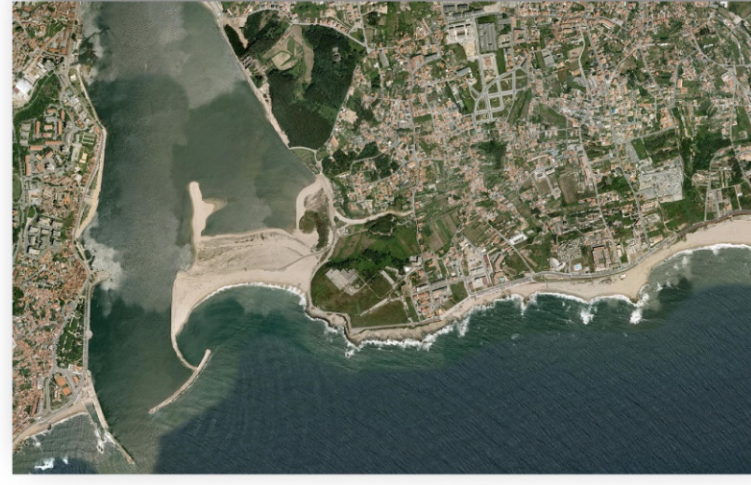
SISTEMA INTEGRADO EM GEOCIÊNCIAS COSTEIRAS: UMA PROPOSTA PRELIMINAR E CONSEQUÊNCIAS EM GEOTECNIA COSTEIRA



Corredor 1
[→ZBR1→ZBR2→ZBR3]
• R [~50]
• D [~550]
• W-W_{2,3}
• G-Grão grosseiro
• R [~60]
• D [~650]
• W-W_{1,4}
• G-Grão médio
• R [~75]
• D [~800]
• W-W_{1,2,3,4}}
• G-Grão médio
➤ Corredor de blocos com grande mobilidade

Corredor 2/3
[→ZBR1→ZBR2→ZBR3]
• R [~45]
• D [~500]
• W-W_{1,4}}
• G-Grão grosseiro
• R [~60]
• D [~650]
• W-W_{1,2}}
• G-Grão médio
• R [~65]
• D [~700]
• W-W_{1,2}}
• G-Grão médio
➤ Corredores mais protegidos, no entanto, apresentam caps de blocos

Corredor 4
[→ZBR1→ZBR2→ZBR3]
• R [~45]
• D [~500]
• W-W_{1,4}}
• G-Grão grosseiro
• R [~50]
• D [~550]
• W-W_{1,2}}
• G-Grão médio
• R [~55]
• D [~600]
• W-W_{1,2}}
• G-Grão médio
➤ Corredor com blocos dispostos aleatoriamente, mas com grande mobilidade



Definição dos corredores de estudo

- Contenção e reforço da costa (zona de gnaisses)
- Cobertura sedimentar (depósitos fini-cenozóicos [Araújo, 1991])
- ZG - Zona muito alterada
 - Granito porfírido, biotítico de grão médio a grosseiro
 - Predominância do grau de alteração [W₂;W_{4,5}]
 - ≈ 60-80 MPa [5]

Definição de sigmóides

- Áreas triangulares
- ZBR - Definição das zonas de blocos rochosos

Valores de resalto e dureza (R/HLD)

- Elevado [≈65-80/700-850]
- Médio [≈55-65/600-750]
- Baixo [≈45-44/500-600]

Bloco Y (deslocado)

Classificação:

- R-RESSALTO (REBOUND, MARTELO SCHMIDT)
- D-DUREZA (HLD, EQUOTIP)
- W-GRAU DE ALTERAÇÃO
- G-GRÃO PREDOMINANTE

CLASSIFICAÇÃO DE BLOCOS SEGUNDO BUIA & MCPHERSON [1999] E PEREZ-ALBERTI ET AL. (2012)

Figura 5.64 – Sistema integrado em geociências costeiras: uma proposta preliminar.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS



6. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

O desenvolvimento desta dissertação apresenta duas fontes distintas: i) o estudo geológico-geomecânico das descontinuidades e o estudo das geoformas (em particular as marmitas litorais), dados provenientes de Pires (2013), que foram analisados e retrabalhados como contributo para a caracterização do sistema costeiro de Lavadores e numa perspetiva apenas da plataforma rochosa; ii) a caracterização de blocos rochosos, tendo em consideração os sistemas de classificação de blocos, e que inclui a modelação numérica, através da aplicação de equações de hidrodinâmica para o estudo de mobilidade de um bloco rochoso, que recorrendo à cartografia aplicada e SIG, propõe um modelo/sistema integrado de geoengenharia costeira, dados originais e contributo deste trabalho.

As ideias principais deste estudo global do sistema costeiro de Lavadores serão descritos a seguir, tendo em conta os diferentes tipos de abordagens realizados.

Estudo geológico-geomecânico do maciço rochoso fraturado

Através do estudo geológico e geomecânico das descontinuidades, conclui-se que: (i) o grau de alteração que predomina é o W_{1-2} , sendo uma rocha sã a pouco alterada, existindo no entanto uma zona de grande alterabilidade, localizada a Este, mais perto da costa; (ii) as diáclases são o tipo de descontinuidade em maior número, constituindo mais de metade do número de descontinuidades estudadas; (iii) a abertura das descontinuidades é maioritariamente “fechada” (78,43%) encontrando-se, ainda, descontinuidades classificadas como “abertas” (19,61%) e muito abertas (1,96%); (iv) o espaçamento F_{1-2} é predominante, com uma representação de 82,35%; v) a terminação é maioritariamente obscura (52,94%) o que denuncia uma forte penetrabilidade das descontinuidades; (vi) a curvatura em maior número é a C_{1-2} , planas a ligeiramente curvas, com uma representação de 47,06%; (vii) a rugosidade R_3 , rugosas, representa 54,90% da totalidade; (viii) a ausência de enchimento é notável, com uma representatividade de 98,04 %; e (ix) a resistência à compressão uniaxial verificada é maioritariamente S_2 , elevada, com 65,32%, seguida da S_1 , com 23,01%.

Verifica-se, ainda, que à medida que se percorre para Sul da costa, os espaçamentos entre descontinuidades são menores. Observa-se a existência de uma ZG – zona muito alterada – caracterizada pela presença de um granito muito alterado e de grão grosseiro. Foi possível criar uma avaliação preliminar para a caracterização da costa rochosa de Lavadores, onde foram definidos três sectores com parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos distintos.

Estudo preliminar das geoformas: as marmitas litorais

Foram determinados três níveis em termos de localização das marmitas (nível superior, intermédio e inferior) e analisando essencialmente os parâmetros de pH, temperatura e dimensões, conclui-se que, de um modo geral, se verifica que as marmitas localizadas mais próximas da linha do mar apresentam valores de ressalto superiores, assim como as suas dimensões são também significativamente maiores do que nas restantes. Considera-se a ação mecânica das ondas um dos principais processos a atuar nesta zona (nível inferior), provocando uma maior dimensão de marmitas. À medida que se vai percorrendo para Este, entrando no domínio do nível intermédio, conclui-se que as marmitas aparentam ser de diferentes géneses, salientando-se três processos de formação: i) processos mecânicos de erosão pelas ondas; ii) exfoliação do granito; iii) alterações químicas. Observam-se, também, marmitas de grandes dimensões no setor intermédio (ainda que apenas se encontrem sujeitas a processos mecânicos ocasionalmente), o que evidencia que poderiam ter já estado localizadas numa zona de maior proximidade com o mar. No nível superior, por sua vez, as marmitas apresentam menores dimensões, não estando sujeitas à ação mecânica do mar e provavelmente a sua génese poderá estar ligada a processos químicos.

Estudo de mobilidade de blocos rochosos: um ensaio

A partir do estudo de transporte de um bloco rochoso designado por “bloco Y” foi possível constatar que a utilização de equações hidrodinâmicas podem conduzir a resultados variados. Neste sentido, a aplicação deste tipo de equações deve ser ponderada. É essencial a realização de um estudo complementar constituído por dados de caracterização da agitação marítima (alturas de onda e períodos de onda), por uma procura cuidada de registos alusivos a eventos de elevada magnitude, pelas características do local a estudar, assim como pela comparação com casos semelhantes.

Mais ainda, deve ter-se em conta os registos históricos onde seja possível a correlação inequívoca com a sua origem (e.g., tsunami/tempestade). Uma análise desta natureza, com o apoio dos dados dos marégrafos permite a definição de um limite geográfico para o qual um determinado bloco se deslocaria para a ocorrência de uma tempestade, isto, tendo em consideração que as energias associadas a tempestades são geralmente de magnitude inferior às dos tsunamis.

Com este estudo sugere-se que os resultados das equações hidrodinâmicas para *tsunami* ou tempestade poderão não corresponder necessariamente ao evento que estas representam. Logo, a equação referente a um *tsunami* poderá ser aplicada a uma tempestade com características particulares (nomeadamente com energias elevadas, capazes de originar inundações na zona urbana). Tal caso foi constatado para as equações de Nott de 1997. A consideração que o bloco se

move para as máximas alturas de onda verificadas, aliada aos registos dos marégrafos, permite concluir que a probabilidade da origem da movimentação/ transporte do bloco Y, seja maior para o evento tipo tempestade “cyclone”.

Constatou-se também que a velocidade mínima de transporte obtida através de Nott (2003) quando comparada com as velocidades mínimas correspondentes aos três diferentes tipos de movimentação do bloco (deslizamento/rolamento/salto) por Nandasena et al. (2011) poderá conduzir a diferentes formas de transporte.

Estudo dos blocos rochosos: avaliação preliminar

Efetuuou-se a divisão do setor costeiro em três zonas distintas, sendo elas de Este para Oeste: ZBR1, ZBR2, e ZBR3. Tendo em conta a caracterização dos blocos rochosos em termos de resistências e diferentes granulometrias conclui-se, de um modo geral, que à medida que se percorre no sentido da costa para o mar (E-W), existe um aumento de resistência e os graus de alteração são normalmente correspondentes a rocha sã a não alterada (W_{1-2}). A plataforma rochosa, por sua vez, apresenta valores de ressalto relativamente superiores aos registados para os blocos rochosos e grão fino, sendo considerada uma rocha sã (W_1). Conclui-se a existência de uma ZG – zona muito alterada a Este – sendo o granito predominantemente de grão grosseiro e que corresponde à ZBR1.

Síntese

Em termos gerais, concluiu-se que a configuração da costa, aliada às características de agitação marítima, confere aos Corredores 1 e 4 uma maior mobilidade e dinâmica, comparativamente aos Corredores 2 e 3, ocupando estes posições mais centrais. O Corredor 1 apresenta a particularidade de ser equiparado a uma estrutura de proteção costeira (esporão), devido ao posicionamento dos seus blocos, que se acumulam junto da plataforma. Os valores de ressalto diminuem, geralmente, de Este para Oeste e Norte para Sul, concluindo-se que no Corredor 4 apresentam os menores valores. Será de salientar também algumas características na costa que foram identificadas, como as áreas triangulares, as delimitações dos sigmoides que se tornam evidentes, as áreas de maior suscetibilidade, o próprio recorte da costa, a malha de fracturação ou até mesmo o posicionamento dos blocos rochosos, que através de uma observação mais cuidada podem trazer novos contributos para uma melhor compreensão da dinâmica entre corredores e blocos, expondo um sistema costeiro único e muito interessante.

Este modelo sintetiza e estabelece uma ligação entre os dados geológicos e geomecânicos das discontinuidades, com os dados da avaliação dos blocos e plataforma rochosos. Definindo à partida

um zonamento longitudinal à costa (ZBR1, ZBR2 e ZBR3) mas também sectorial (Sector I, II e III) transversal à costa, com parâmetros e variáveis diferentes. A envolvência da área, que inclui o estuário do Rio Douro e o Porto de Leixões a Norte, a “língua de areia” do Cabedelo e o quebra-mar destacado, constituem elementos fundamentais neste sistema costeiro global e integrado, e que devem ser analisados. De uma forma geral, apresentam-se três áreas científicas que contribuem para a criação de uma proposta preliminar do sistema integrado em geociências costeiras com consequências para a geotecnia costeira: (i) caracterização geológico-geomecânica; (ii) avaliação geomecânica dos geomateriais; e (iii) avaliação e análise da geomorfologia costeira. A proposta é fundamentada ainda através de ferramentas como a cartografia SIG, base de dados e o estudo da dinâmica litoral.

Perspetivas futuras

O número de assuntos abordados ao longo desta dissertação levou a uma visão mais geral e global para a caracterização e avaliação do sistema costeiro de Lavadores. Durante o trabalho desenvolvido sentiu-se alguma dificuldade na etapa de aquisição de dados e informações nas zonas mais próximas do mar. Este trabalho, de alguma forma, deu um contributo para o conhecimento da costa rochosa e da sua mobilidade em termos de dinâmica litoral. Seria importante confrontar os dados com a própria dinâmica litoral do Estuário do Rio Douro e obras de proteção costeira existente (quebra-mar destacado existente e o próprio Porto de Leixões) e perceber de que forma este sistema rochoso é influenciado pelo transporte sedimentar e pelas ações erosivas das obras marítimas.

A cartografia aplicada à geotecnia costeira realizada, bem como as inspeções sistemáticas aos blocos rochosos, foram abordadas sempre numa perspetiva da geoengenharia costeira, de modo a propor e conceptualizar um sistema integrado preliminar da área de estudo. A área de estudo poderá ser alargada e até ser comparada com outros sectores semelhantes (e.g. Pérez et al., 2012; Pires et al. 2014), de modo a englobar diferentes sistemas costeiros (e.g. obras marítimas, praias arenosas, praias rochosas, estuários) e ser aplicada e dar ênfase a uma abordagem multidisciplinar nos domínios da geologia/geomorfologia e engenharia costeira.

Como objetivos complementares, abrangidos por um estudo mais aprofundado, poder-se-ão salientar os seguintes aspetos:

- aprofundar o conhecimento da geologia da faixa costeira em estudo, integrando-a ainda mais numa perspetiva da geomorfologia costeira;
- evolução histórica com recurso a diferentes fotografias aéreas da área de estudo;

- evolução da linha de costa (arenosa e rochosa) para diferentes períodos de tempo de modo a traçar uma tendência evolutiva no sistema litoral
- refinamento da metodologia para a caracterização geológica e geomecânica de modo a definir um zonamento da área;
- estudo e caracterização dos blocos rochosos através de variadas ferramentas, assim como, através de ensaios laboratoriais, de modo a obter valores comparativos; realizar um estudo comparativo dos equipamentos de medição de resistência *in-situ* (martelo de Schmidt [R-rebound/ressalto] e Equotip [HLD-hardness/dureza]) e uma análise estatística de modo a correlacionar os valores obtidos em campo;
- estudo para avaliação de vulnerabilidade/risco em termos de invasões do mar;
- estudo de estabilidade dos corredores de blocos rochosos e sua analogia às obras de proteção costeira (e.g. Van der Meer 1987; CIRIA et al. 2007);
- uma abordagem da geomorfologia costeira da área em ambiente SIG, de modo a obter uma cartografia útil do local em termos de ordenamento do território costeiro e gestão litoral.

Existe, como se pode verificar, ainda um campo de investigação muito vasto ligado a esta zona costeira, com todas as vantagens de abordagens multidisciplinares de serem exploradas, com o enfoque, para além de outras, da geomorfologia costeira, das geociências costeiras e da geotecnia costeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Al-Harhi A. A., 2001. A field index to determine the strength characteristics of crushed aggregate. *Bulletin Engineering Geology and Environment*, 60: 193-200.
- Almeida A., 2001. Caracterização geoquímica e geocronológica do granito de duas micas sintectónico do Porto (NW de Portugal) [Geochemical and geochronologic characterization of Porto syntectonic twomicas granite (NW Portugal)]. In: Lago M., Arranz E., Galé C., (Eds), *Proceedings Iller Congreso Ibérico de Geoquímica/VIII Congreso de Geoquímica de España*. Instituto Tecnológico de Aragón, Zaragoza: 311-315.
- Alves F., Roebeling P., Pinto P. & Batista P., 2009. Valuing ecosystem service losses from coastal erosion along the central Portuguese coast: a benefits transfer approach. *Journal of Coastal Research*, 56: 1169-1173.
- Araújo M. A., 1991. Evolução geomorfológica da plataforma litoral da região do Porto. Universidade do Porto. 534p., c/ anexos (87p.) e 3 mapas fora do texto. (Tese de Doutoramento).
- Araújo M.A., Gomes A.A., Chaminé H.I., Fonseca P.E., Gama Pereira L.C. & 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, A Coruña, Spain, Volume 28*: 79-105.
- Araújo M.A., 2004. Seminário sobre Geomorfologia Litoral (Ano Lectivo 2004/2005). Faculdade de Letras da Universidade do Porto. In: <http://web.letras.up.pt/asaraujo/seminario/programa.html> (consultado em Junho 2014).
- Assaad F.A., LaMoreaux P.E., Hughes T.H., Wangfang Z. & Jordan H., 2004. *Field methods for geologists and hydrogeologists*. Springer-Verlag. 420 p.
- ASTM – American Society for Testing and Materials, 2001. Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method, D 5873-00. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Auboin J., 1978. Charriage, collision, subduction (Orsay, France). *Sixième Réunion Annuelle des Sciences de la Terre*, 25-27 Avril 1978, Resumés, 10 p.
- Bagnold R. A., 1946. Motion of waves in shallow water. Interaction between waves and sand bottoms. *Proceedings of the Royal Society of London*, A187: 1-18.
- Barbano M.S., Pirrotta C. & Gerardi F., 2010. Large boulders along the south-eastern Ionian coast of Sicily: Storm or tsunami deposits?. *Marine Geology*, 275: 140-154.
- Barbour S.L. & Krahn J., 2004. Numerical Modelling – Prediction or Process? *Geotechnical News*, December 2004, *GeoSpec*: 44-52.
- Barth M. C. & Titus J.G., 1984. *Greenhouse Effect and Sea Level Rise: A Challenge for this Generation*. Van Nostrand Reinhold, New York, 325 p.
- Bird E., 1993. *Submerging Coasts. The Effects of a Rising Sea Level on Coastal Environments*. John Wiley & Sons, Chichester. 184 p.
- Bird E., 1997. *Coastal geomorphology: an introduction*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester. 321 p.
- Bird E., 2008. *Coastal geomorphology: an introduction*. 2nd Edition. Wiley, Chichester, UK. 436 p.
- Blair T.C. & Mcpherson J.G., 1999. Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*, 69: 6-19.
- Bloom A. L., 1978. *Geomorphology, A systematic analysis of late cenozoic landforms*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 510 p.
- Blott S. J. & Pye K., 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 1237-1248.
- Bourcart J., 1938. La marge continentale: essai sur les régressions et transgressions marine. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 5 série, VIII (5-6), Paris: 393-474.
- Bourgeois J., 2009. The geologic effects and records of tsunamis. In: Bernard E.N. & Robinson A.R., (Eds.), *Tsunamis. The Sea*, Volume 15. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts: 55–91.

Bourgeois J. & MacInnes B., 2010. Tsunami boulder transport and other dramatic effects of the 15 November 2006 central Kuril Islands tsunami on the island of Matua. *Zeitschrift fuer Geomorphologie*, 54 (3): 175–195.

Brady B. H. G. & Brown E. T., 2004. *Rock mechanics for underground mining*. 3rd Edition. George Allen & Unwin, London. 527 p.

Briggs D., Smithson P., Addison K., & Atkinson K., 1997. *Fundamentals of the Physical Environment*. 2nd Edition. Routledge, London. 557 p.

Brum Ferreira A., 1983. Problemas de evolução geomorfológica quaternária do noroeste de Portugal. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe: Revista de xeoloxía galega e do hercínico peninsular*, (5): 311-332.

Brum Ferreira, A., 2004. O Noroeste (Minho e Trás-os-Montes Ocidental”. O Relevo de Portugal. *Grandes Unidades Regionais*. Coimbra, Associação Portuguesa de Geomorfólogos: 111-125.

Brandão R., 2014. *Os pescadores*. Edições Vercial.

Bryant E., 2001. *Tsunami: the underrated hazard*. Cambridge University Press, Cambridge. 320 p.

Burke R., Napoleon E., Ormsby T., Groess C. & Feaster L., 2001. *Getting to Know ArcGIS Desktop: The Basics of ArcView, ArcEditor, and ArcInfo Updated for ArcGIS 9*. Getting to Know series. Esri California. 550 p.

Camfield F.E., 1980. *Tsunami Engineering*. U.S. Army Corp. Eng. Coastal Eng. Res. Cent., Spec. Rep. 6, Washington. 222 p.

Candal Park, 2014. De indústria de porcelanas a parque empresarial. In: <http://candalparque.pt/historia.php> (consultado em Agosto 2014).

Carneiro M., Sá L. & Gomes E., 2003. O Monitoramento da Erosão Costeira – Estudo a partir das Praias de Casa Caiada e Rio Doce – Olinda, Estudo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística com a Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Departamento de Engenharia Cartográfica, Brasil.

Capitão R.P., 2003. *Modelação estocástica numérica e física da agitação marítima*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa. 478p. (Tese e Projeto de Investigação).

Carrington da Costa J. & Teixeira C., 1957. *Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal, escala 1/50.000, folha 9-C, Porto*. Serviços Geológicos de Portugal. 38 p.

Carter R.W. G., 1995. *Coastal environments: An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines*. San Diego Academic Press, San Diego.

Carvalho A. & Rosa M., 1988. *Localização do paleovale do Rio Douro*. *Anais do Instituto Hidrográfico*, 9: 77-82.

Chaminé H.I. & Gaspar A.F., 1995. *Estudo da compartimentação de maciços rochosos pela técnica de amostragem linear: aplicação a uma travessa da Mina de Carvão de Germunde*. *Estudos, Notas & Trabalhos Inst. Geol. Min., Porto*, 37: 97-111.

Chaminé H. I., 2000. *Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de Espinho – Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena): implicações geodinâmicas*. Universidade do Porto (UP). 497 p., 2 anexos, 3 mapas. (Tese de Doutoramento).

Chaminé H. I., Gama Pereira L. C., Fonseca P. E., Noronha F. & Lemos de Sousa M. J., 2003. *Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento do Porto-Albergaria-a-Velha-Coimbra-Tomar, entre as Zonas Centro- Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal)*. *Cadernos Lab. Xeol. Laxe, A Coruna*, 28: 37-78.

Chaminé H.I., Afonso M.J., Robalo P.M., Rodrigues P., Cortez C., Monteiro Santos F.A., Plancha J.P., Fonseca P.E., Gomes A., Devy-Vareta N.F., Marques J.M., Lopes M.E., Fontes G., Pires A. & Rocha F., 2010. *Urban speleology applied to groundwater and geo-engineering studies: underground topographic surveying*

of the ancient Arca D'Água galleries catchworks (Porto, NW Portugal). *International Journal of Speleology*, 39 (1): 1-14.

Chaminé H.I., Afonso M.J., Teixeira J., Ramos L., Fonseca L., Pinheiro R. & Galiza A.C., 2013. Using engineering geosciences mapping and GIS-based tools for georesources management: lessons learned from rock quarrying. *European Geologist Magazine, Journal of the European Federation of Geologists*, 36: 27-33.

Chaminé H.I., Afonso M.J., Ramos L. & Pinheiro R., 2014. Scanline sampling techniques for rock engineering surveys: insights from intrinsic geologic variability and uncertainty (Chapter 61). In: Giordan D., Thuro K., Carranza-Torres C., Wu F., Marinos P. & Delgado C., (Eds.), *Engineering Geology for Society and Territory – Applied Geology for Major Engineering Projects*, IAEG, Springer, 6: 357-361.

Cicin-Sain B. & Knecht R.W., 1998. *Integrated Coastal and Ocean Management: Concepts and Practices*. Island Press, Washington, D.C. 543 p.

CIRIA, CUR & CETMEF, 2007. *The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering*. 2nd Edition. C683, CIRIA, London. 1254 p.

Clegg P., Bruciatelli L., Domingos F., Jones R. R., De Donatis M. & Wilson R. W., 2006. Digital geological mapping with tablet PC and PDA: A comparison. *Computers & Geosciences*, 32 (10): 1682-1698.

CMVNG, 2005. Plano diretor municipal de Vila Nova de Gaia. In: <http://www.gaiurb.pt/pdm.htm> (consultado em Agosto 2014).

Coelho C., 2005. *Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira*. Seção Autónoma de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro. 404 p. (Tese de Doutoramento).

Coentrão A., 2014. De onde saíram estas ondas destruidoras? In: <http://www.publico.pt/local/noticia/de-onde-sairam-estas-ondas-destruidoras-1618823#/0> (consultado em Outubro de 2014).

Corey A.T., 1949. *Influence of Shape on the Fall Velocity of Sand Grains*. Colorado State University (Dissertação de Mestrado).

Costa J.C. & Teixeira C., 1957. *Notícia explicativa da Folha 9-C (Porto) da Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50.000*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Cotton C. A., 1955. *Aspects Géomorphologiques de la flexure continentale*. Bull Soc. Geol. Belgique. 78 p.

Cowell P. J., Roy P. S. & Jones R. A., 1995. Simulation of large-scale coastal change using a morphological behaviour model. *Marine Geology*, 126 (1): 45-61.

Darwin C., 1842. *The structure and distribution of coral reefs*. Smith Elder and Co., London. 214 p.

Daveau, S., 1995. *Portugal Geográfico*, ed. João Sá da Costa, Lisboa. 223 p.

Davies J. L., 1964. A morphogenetic approach to world shorelines. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 8: 127-142.

Davies J. L., 1972. *Geographical Variation in Coastline Development*. Olive and Boyd, Edinburgh.

Davies J. L., 1980. *Geographical Variation in Coastal Development*. 2nd Edition. Longman, London and New York.

Donatis M. & Bruciatelli L., 2006. MAP IT: The GIS software for field mapping with tablet pc. *Computers & Geosciences*, 32 (5): 673-680.

Donatis M., Susini S. & Delmonaco G., 2008. Digital geologic mapping methods: from field to 3D model. *International Journal of Geology*, 2: 47-52.

Dean R.G., Kriebel D.L. & Walton T.L., 2002. Cross-shore sediment transport processes. Chapter 3 of Part III of the *Coastal Engineering Manual*, EM 1110-2-1100.

Dean R.G., Dalrymple R.A., 2004. Coastal processes with engineering applications. Cambridge University Press, Cambridge. 475 p.

Dias J. A., 1987. Dinâmica Sedimentar e Evolução recente da Plataforma Continental Portuguesa Setentrional. Universidade de Lisboa. 384 p. (Tese de Doutoramento).

Dias J. A., Taborda R., 1988. Evolução Recente do Nível Médio do Mar em Portugal. Anais do Instituto Hidrográfico, 9: 83-97.

Dias J. A., Ferreira Ó & Pereira A.P., 1994. Estudo Sintético de Diagnóstico da Geomorfologia e da Dinâmica Sedimentar dos Troços Costeiros entre Espinho e Nazaré. In: http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_EspinhoNazare.html. (consultado em Julho de 2014)

Dias J. A., Rodrigues A. & Magalhães F., 1997. Evolução da linha de costa, em Portugal, desde o último máximo glaciário até à actualidade: síntese dos conhecimentos. Estudos do Quaternário APEQ, 1: 53-66.

Dias J. A., Boski T., Rodrigues A. & Magalhães F., 2000. Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until present: a synthesis. Marine Geology, 170 (1): 177-186.

Dias J. A., 2003. Gestão Integrada das Zonas Costeiras: Mito ou Realidade?. 2º Congresso do Quaternário dos Países de Línguas Ibéricas e 2º Congresso sobre Planeamento e Gestão da Zona Costeira dos Países de Expressão Portuguesa, Livro de Resumos, Recife. 859 p.

Dias, J. A., 2004. A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos. In: http://www.oceanografia.ufba.br/ftp/Sedimentologia/Bibliografia/Alverino_Dias_Analise%20edimentar%20Sistemas%20Marinhos_2004.pdf (consultado em Julho de 2014).

Dias J. A., Freire P., Freitas C., Klein A. & Silva, P., 2011. Importância do conhecimento sobre a morfodinâmica estuarina e costeira para a gestão do litoral. Revista da Gestão Costeira Integrada, 11 (3): 271-272.

Dietrich G., Kalle K., Krauss W. & Siedler G., 1980. General Oceanography. 2nd Edition. John Wiley and Sons (Wiley-Interscience), New York. 650 p.

Dinis da Gama C., 1983. Use of comminution theory to predict fragmentation of jointed rock mass subjected to blasting. In: Holmberg R., Rustan A., (Eds.), Proceedings of the First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting. Balkema, Luleå, Sweden: 563-579.

Dinis da Gama C., 1995. Aspectos geotécnicos y de fracturación en la explotación de canteras. In: López Jimeno C., (Ed.), Cap. 10 del Manual de Rocas Ornamentales. Entorno Gráfico. S.L., Madrid: 231-246.

Edgren G., 1993. Expected economic and demographic developments in coastal zones world wide. In: Beukenkamp P., Gunther P., Klein R. et al., (Eds), World Coast '93. National Institute for Coastal and Marine Management, Coastal Zone Management Centre, Noordwijk, The Netherlands: 367-370.

Esri, 2013. ArcGIS for Desktop. In: <<http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop>>, (consultado em Maio de 2014).

Ferreira M. J., 1999. O litoral português: contributos para uma "Geografia das Regiões Litorais". III Congresso da Geografia Portuguesa, Porto, Setembro de 1997. Edições Colibri e Associação Portuguesa de Geógrafos, Lisboa: 57-66.

Ferreira N., Iglesias M., Noronha F., Pereira E. & Ribeiro M. L., 1987. Granitóides da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmico. In: Libro Homenajes a L.C.Garcia de Figueirola, (Ed), Ruela, Madrid: 37-51.

Ferreira A., 2000. Caracterização de Portugal Continental, Capítulo 2. In: <http://www.Ineg.pt/download/3259/cap2.pdf> (consultado em Junho de 2014).

Finkl C.W., 2004. Coastal classification: Systematic approaches to consider in the development of a comprehensive system. West Palm Beach (Florida). Journal of Coastal Research, 20 (1): 166-213.

Firmino T., 2012. Em 2013, já poderemos saber se vem aí um tsunami. In: <http://www.publico.pt/ciencia/noticia/em-2013-ja-poderemos-saber-se-vem-ai-um-tsunami-1575479> (consultado em Outubro de 2014).

Flather R.A., 2001. *Storm Surges*. In: Steele J.H., Thorpe S.A. & Turekian K.K., (Eds.), *Encyclopedia of Ocean Sciences*. California Academic Press, California: 2882-2892.

Fonseca L., Ramos L., Galiza A.C. & Chaminé H.I., 2010. Avaliação geomecânica de maciços rochosos fracturados e as tecnologias de perfuração: consequências técnico-económicas. In: Gomes Correia A. et al., (Eds.), *Atas do 12º Congresso Nacional de Geotecnia (Geotecnia e Desenvolvimento Sustentável)*, SPG/UM, Guimarães: 279-288 (CD-Rom).

Fookes P.G., Lee E.M. & Milligan G.C., 2005. *Geomorphology for engineers*. Whittles. 312p.

Fookes P. G., Lee E. M. & Griffiths J. S., 2007. *Engineering Geomorphology – Theory and practice*. Taylor and Francis Group, UK. 281 p.

Fortes J., 1909. *Gaya no passado, Mea villa de Gaya*. Empresa Editorial do Guia Ilustrado de Portugal, Porto.

Fredsøe J. & Deigaard R., 1992. *Mechanics of Coastal Sediment Transport*. World Scientific, Hackensack, NJ.

Fröhle P. & Kohlhas S., 2004. The role of Coastal Engineering in Integrated Coastal Zone Management. In: Schernewski G. & Löser N., (Eds.), *Managing the Baltic Sea. Coastline Reports*, 2: 167-173.

Gaiurb, 2014. In: <http://www.gaiurb.pt/> (consultado em Julho de 2014)

Galiza A.C., Ramos L., Fonseca L. & Chaminé H.I., 2011a. Geotecnia mineira de maciços rochosos fracturados para o controlo da qualidade do desmonte. *Revista Ingenium, Ordem Engenheiros*, 124: 76-80.

Galiza A.C., Ramos L., Fonseca L., Teixeira J. & Chaminé H.I., 2011b. O papel da geotecnia mineira na optimização do desmonte de maciços rochosos fraturados. *Boletim de Minas, DGEG, Lisboa*, 46 (2): 103-120.

Galiza A.C., Ramos L., Fonseca L. & Chaminé H.I., 2011c. Geomechanical control of jointed rockmass blasting by aligned drilling. In: Holmberg R., (Eds.), *Lisbon Conference Proceedings 2011, EFEE – European Federation of Explosives Engineers*: 271-280.

Gomes A. A. & Ferreira J., 1995. A praia de Lavadores (Vila Nova de Gaia) – Uma aula de campo para os alunos do Ensino Secundário. In: *Atas do IV Congresso Nacional de Geologia, Porto, 1995*. (coord. F. Sodrê Borges e M. M. Marques), Faculdade de Ciências da Universidade do Porto – Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, 4: 3-6.

Gomes A., Ferreira J. & Araújo M. A., 2002. A riqueza geomorfológica e geológica da praia de Lavadores (Vila Nova de Gaia): um património a divulgar e a preservar. In: *Atas do Seminário “Região do Porto: Áreas Naturais para o Século XXI”*, Parque Biológico de V. Nova de Gaia. 6 p.

Gomes A., Chaminé H. I., Teixeira J., Fonseca P. E., Gama Pereira L. C., Pinto de Jesus A., Perez Alberti A., Araújo M. A., Coelho A., Soares de Andrade A. & Rocha F. T., 2007. Late Cenozoic basin opening in relation to major strike-slip faulting along the Porto-Coimbra-Tomar fault zone (northern Portugal). In: Gary Nichols, Ed Williams & Chris Paola, (Eds.), *Sedimentary Processes, Environments and Basins: a tribute to Peter Friend*. Special Publications of the International Association Sedimentologists (IAS), Blackwell Publishing, 38: 137-153.

Gomes A., 2008. *Evolução geomorfológica da plataforma litoral entre Espinho e Águeda*. Departamento de Geografia, Universidade do Porto. 330 p. (Tese de Doutoramento).

Gómez-Pujol L., Pérez-Alberti A., Blanco-Chao R., Costa S., Neves M. & Del Río. L, 2014. Chapter 6 The rock coast of continental Europe in the Atlantic. *Geological Society, London, Memoirs* 2014, 40: 77-88.

Gonçalves J.A. & Piqueiro F., 2004. Geo-referenciação de imagens aéreas de uma câmara digital não métrica: aplicação à Costa Oeste de Portugal Continental entre a Figueira da Foz a Nazaré. In: Atas do VIII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica, ESIG'2004, Oeiras: 1-8.

González de Vallejo L. I., Ferrer M., 2011 Geological engineering. Taylor&Francis Group, London UK. 678 p.

Goto, K., Imamura, F., 2007. Numerical models for sediment transport by tsunamis. *The Quaternary Research (Daiyonki-Kenkyo)*, 46: 463-475.

Goto K., Chavanich S.A., Imamura F., Kunthasap P., Matsui T., Minoura K., Sugawara D. & Yanagisawa H., 2007. Distribution, origin and transport process of boulders deposited by the 2004 Indian Ocean tsunami at Pakarang Cape, Thailand. *Sedimentary Geology*, 202: 821–837.

Goto K., Okada K. & Imamura F., 2009. Characteristics and hydrodynamics of boulders transported by storm waves at Kudaka Island, Japan. *Marine Geology*, 262: 14–24. doi:10.1016/j.margeo.2009.03.001.

Goto K., Miyagi K., Kawamata H. & Imamura F., 2010. Discrimination of boulders deposited by tsunamis and storm waves at Ishigaki Island, Japan. *Marine Geology*, 269: 34–45.

Goyios A., 2009. Costas da Índia e Austrália. In: <http://blavatskyarchives.com/midatlanticridge/midatlanticridge.htm> (consultado em Abril de 2014).

Griffiths J.S. & Stokes M., 2008. Engineering geomorphological input to ground models: an approach based on earth systems. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 41: 73-91.

Griggs G.B. & Trenhaile A.S., 1994. Coastal cliffs and platforms. In: Carter R.W.G. & Woodroffe C.D., (Eds.), *Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*. Cambridge University Press, Cambridge: 425-476.

Guilcher A., 1958. *Coastal and Submarine Morphology*. Methuen, London. 274 p.

Guimarães J.G., 1995. *Gaia e Vila Nova na Idade Média, Arqueologia de uma área ribeirinha*. Universidade Portucalense, Porto.

Hardisty J., 1990. *Beaches: form and process*. Springer.

Haslett S. K., 2001. *Coastal Systems (Routledge Introductions to Environment Series)*. Routledge, London. 217 p.

Hoffman J., Keyes D. & Titus J., 1983. *Projecting Future Sea Level Rise*. Government Printing Office, Washington, D.C.

Hudson R. Y., 1953. Engineering Aspects of Water Waves: A Symposium: Wave Forces on Breakwaters. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 118 (1): 653-674.

Hudson, R. Y., 1959. Laboratory investigation of rubble-mound breakwaters. In: *Proc. ASCE*, 85 (3): 93-121.

Huler S., 2004. *Defining the Wind: The Beaufort Scale, and How a 19th-Century Admiral Turned Science into Poetry*. Three River Press, New York, Crown. 290 p.

I.H. – Instituto Hidrográfico, 2005. *Roteiro da Costa de Portugal, Portugal Continental – Do Rio Minho ao Cabo Carvoeiro*. 3ª Edição. Ministério da Defesa Nacional, Marinha, Lisboa. 333 p.

Imamura F., Goto K. & Ohkubo S., 2008. A numerical model for the transport of a boulder by tsunami. *Journal of Geophysical Research*, 113. C01008. doi:10.1029/2007JC004170.

INAG – Instituto Nacional da Água, 2001. *Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Douro – Relatório Final*. 583 p.

INAG – Instituto Nacional da Água, 2003. *Estuários Portugueses*. Bettencourt A & Ramos L., (Eds), Inst. Nacional da Água.

- INE – Instituto Nacional de Estatística, 2011. In: <http://censos.ine.pt/> (consultado em Maio de 2014)
- INETI, NTUA, ISDGM, HWU, OCEANOR, UCC & IM, 1997. Weratlas: European wave energy atlas. European Commission JOULE Programme Technical Report. 120 p.
- Inman D. L. & Nordstrom C.E., 1971. On the tectonic and morphologic classification of coasts. *Journal of Geology*, 79: 1-21.
- IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2014. Tornado ocorrido no concelho de Paredes a 04 de janeiro de 2014. In: <https://www.ipma.pt/pt/media/noticias/newsdetail.html?f=/pt/media/noticias/arquivo/2014/tornado-paredes-04-jan-2014.html> (consultado em Outubro de 2014)
- ISRM – International Society of Rock Mechanics, 1978. Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech.*, 15: 89-97.
- ISRM – International Society of Rock Mechanics, 1978b. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech.*, 15: 319-368.
- ISRM – International Society of Rock Mechanics, 1981. Basic geotechnical description of rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech*, 18: 85-110.
- ISRM – International Society of 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, Turkey. 628 p.
- Jesus M. V., 2003. Morfodinâmica do Cabedelo da Foz do rio Douro: Perspetiva histórica e conhecimento da sua evolução atual. Aplicabilidade pedagógica numa vertente CTSA. 211 p. (Dissertação de Mestrado).
- JFC – Junta de Freguesia do Canidelo, 2014. In: <http://www.canidelo.net/> (consultado em Setembro de 2014)
- Johnson D. W., 1919. Shore Processes and Shoreline Development. Wiley, New York. 584 p.
- Kahraman S., Fener M. & Gunaydin O., 2002. Predicting the Schmidt hammer values of in-situ intact rock from core sample values. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 39: 395-399.
- Kamphuis J.W., 2000. Introduction to Coastal Engineering and Management. Advanced series on ocean engineering – Volume 16, World Scientific, Singapore. 437p.
- Katz O., Reches Z. & Roegiers J.C., 2000. Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt hammer. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 37 (4): 723-728.
- Kay R. & Alder J., 2002. Coastal planning and management. Taylor & Francis e-Library. 388 p.
- Keaton J., 2013. Engineering geology: fundamental input or random variable? In: Withiam J.L., Phoon K. K. & Hussein M., (Eds.), Foundation Engineering in the Face of Uncertainty: Honoring Fred H. Kulhawy. ASCE. Geotechnical Special Publications (GSP), 229: 232-253.
- King C. A. M., 1972. Beaches and Coasts. 2nd Edition. Edward Arnold, London.
- Knoop P. A & Pluijm B., 2006. GeoPad: Tablet PC-enabled field science education. In: Berque D., Prey J. & Reed R., (Eds.), The Impact of Tablet PCs and Pen-Based Technology on Education (2006): 103-113.
- Komar P. D, 1980. Modes of sediment transport in channelized water flows with ramifications to the erosion of the Martian outflow channels. *Icarus*, 42 (3): 317-329.
- Krumbein W. C., 1934. Size frequency distributions of sediments. *Journal of sedimentary Petrology*, 4: 65-77.
- Lakhan V. C., 1989. Modeling and simulation of the coastal system. Elsevier Oceanography Series, 49: 17-41.

Lorang M. S., 2000. Predicting threshold entrainment mass for a boulder beach. *Journal of Coastal Research*, 2: 432-445.

Lorang M. S., 2011. A wave-competence approach to distinguish between boulder and megaclast deposits due to storm waves versus tsunamis. *Marine Geology*, 283: 90-97.

LUSA, 2011. Mau tempo: agitação marítima, chuva, neve e vento forte. In: <http://expresso.sapo.pt/mau-tempo-agitacao-maritima-chuva-neve-e-vento-forte=f632646#ixzz3Go08I2sL> (consultado em Outubro de 2014)

Marçal A., Teodoro A. & Veloso-Gomes F., 2004. Monitoring the sea breaking zone in northwest Portugal using Earth observation. Project COSAT. Program POCTI/FEDER. 24th EARSeL Symposium. New Strategies for European Remote Sensing, Croatia.

Mastronuzzi G., Pignatelli C. & Sansò P., 2006. Boulder fields: a valuable morphological indicator of paleotsunami in the Mediterranean Sea. *Z. Geomorphol.*, 146: 173–194.

Met Office, 2010. National Meteorological Library and Archive Fact sheet 6 - The Beaufort Scale (version 01/2010). Met Office's National Climate Information Centre, Exeter Devon, United Kingdom. 22p. In: http://www.metoffice.gov.uk/media/pdf/b/7/Fact_sheet_No._6.pdf (consultado em Setembro de 2014).

Moore J.E., 2011. *Field hydrogeology: a guide for site investigations and report preparation*. 2nd Edition. CRC Press. 206 p.

Morang A., Gorman L., King D., Meisburger, E., 2002. Coastal classification and morphology, Part IV, Chapter IV-2. *Coastal Engineering Manual*. U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. 83 p.

Moutinho V., 2013. Tempestade "Dirk" provoca caos no Natal europeu. In: <http://www.publico.pt/mundo/noticia/tempestade-dirk-provoca-caos-no-natal-europeu-1617469#/0> (consultado em Outubro de 2014).

Nandasena N. A. K., Paris R. & Tanaka N., 2011. Reassessment of hydrodynamic equations: Minimum flow velocity to initiate boulder transport by high energy events (storms, tsunamis). *Marine Geology*, 281: 70–84.

Naylor N.A., Stephenson W.J. & Trenhaile A.S., 2010. Rock coast geomorphology: Recent advances and future research directions. *Geomorphology*, 114: 3-11.

Nelson S., 2003. Zona de convergência de placas e sul da Califórnia. In: <http://www.tulane.edu/~sanelson/geol111/pltect.htm> (consultado em Abril de 2014).

Niedoroda A.W., Reed C.W. & Swift D.J.P., 1995. Modeling shore-normal large-scale coastal evolution. *Mar. Geol.*, 126: 181-199.

Nott J., 1997. Extremely high-energy wave deposits inside the Great Barrier Reef, Australia: determining the cause-tsunami or tropical cyclone. *Marine Geology*, 141: 193-207.

Nott J., 2003. Waves, coastal boulders and the importance of the pre-transport setting. *Earth and Planetary Science Letters*, 210: 269-276.

Noormets R., Crook K.A.W. & Felton E.A., 2004. Sedimentology of rocky shorelines: 3. Hydrodynamics of megaclast emplacement and transport on a shore platform, Oahu, Hawaii. *Sedimentary Geology*, 172: 41-65.

OCAD, 2013. The smart software for cartography. In: <http://www.ocad.com/en/index.htm> (consultado em Maio de 2014).

Oliveira M. A., Andrade C., Freitas M. C., Costa P., Taborda R., Janardo C. & Neves R., 2011. Transport of large boulders quarried from shore platforms of the Portuguese west coast. *Journal of Coastal Research*, 64 (2): 1871-1875.

Oliveira J.T., Pereira E., Ramalho M., Antunes M.T. & Monteiro J.H. (compilers), 1992. *Carta Geológica de Portugal*, 1: 500 000, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

- Ollier C. D., 1984. *Weathering*. Arnold, London. 270 p.
- O'Regan P.R., 1996. The use of contemporary information technologies for coastal research and management. *Journal of Coastal Research*, 12: 192-204.
- Oreskes N., Shrader-Frechette K. & Belitz K., 1994. Verification, validation, and confirmation of numerical models in the earth sciences. *Science*, 263: 641-646.
- Pais-Barbosa J., Veloso-Gomes F. & Taveira-Pinto F., 2006. Aplicação de sistemas de informação geográfica (SIG) a estudos na zona costeira. In *Atas das 1as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente*, 2006: 1-9.
- Pais-Barbosa J., 2007. *Hidromorfologias e hidroformas costeiras locais*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Universidade do Porto (UP). 363 p. + 373 p. anexos. (Tese de Doutoramento).
- Pais-Barbosa J., Veloso-Gomes F. & Taveira Pinto F., 2010. Análise de formas e padrões costeiros como indicadores na zona costeira Noroeste de Portugal. *Revista da Associação Portuguesa de Recursos Hídricos (APRH)*, 31 (2): 15-26.
- Paris R., Wassmer P., Sartohadi J., Lavigne F., Barthomeuf B., Desgages E., Grancher D., Baumert P., Vautier F., Brunstein D. & Gomez C., 2009. Tsunamis as geomorphic crises: lessons from the December 26, 2004 tsunami in Lhok Nga, West Banda Aceh (Sumatra, Indonesia). *Geomorphology*, 104: 59-72.
- Paris R., Fournier J., Poizot E., Etienne S., Morin J., Lavigne F. & Wassmer P., 2010. Boulder and fine sediment transport and deposition by the 2004 tsunami in Lhok Nga (western Banda Aceh, Sumatra, Indonesia): a couple offshore–onshore model. *Marine Geology*, 268: 43–54. doi:10.1016/j.margeo.2009.10.011.
- Paskoff R., 2001. *L'élévation du Niveau de la Mer et les Espaces Côtiers*. Institut Océanographique, Col. Propos. 190 p.
- Pavlopoulos K., Evelpidou N. & Vassilopoulos A. (Eds.), 2009. *Mapping geomorphological environments*. Springer Verlag, Berlin. 236p.
- Perdigão F., 1931. As obras de defesa da nossa praia. 1º Congresso de Engenharia Civil. Série de artigos do jornal "Defesa de Espinho", Fevereiro a Abril de 1976.
- Pereira E., Ribeiro A., Carvalho G.S., Noronha F., Ferreira N. & Monteiro J.H. [coords], 1989. *Carga Geológica de Portugal*, escala 1/200 000, Folha 1. Serviços Geológicos de Portugal.
- Pérez-Alberti A., Trenhaile A., Pires A., Chaminé H.I., López-Bedoya J. & Gomes A., 2012. The effect of boulders on shore platform development and morphology in Galicia, north west Spain. *Continental Shelf Research*, 48: 122-137.
- Pérez-Alberti A., Pires A., Freitas L. & Chaminé H.I., 2013a. Shoreline change mapping along the coast of Galicia (NW Spain). *Maritime Engineering – Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 166 (3): 125-144.
- Pethick J., 1984. *An introduction to coastal geomorphology*. Routledge, NY. 272 p.
- PIANC, 1985. *Underkeel clearance for large ships in maritime fairways with hard bottom*. Supplement to PIANC Bulletin No 51, Brussels.
- Pinheiro R., Ramos L., Teixeira J., Afonso M.J. & Chaminé H.I., 2014. MGC–RocDesign|CALC: a geomechanical calculator tool for rock design. In: Alejano L.R., Peruchó A., Olalla C. & Jiménez R., (Eds.), *Proceedings of Eurock2014, Rock Engineering and Rock Mechanics: Structures in and on Rock Masses (ISRM European Regional Symposium, Vigo, Spain, 26-28 May 2014)*. CRC Press/Balkema Taylor & Francis Group, London: 655-660. (on pen-drive insert, ISRM Paper CH100).
- Pires A., 2013. *Integrated coastal geoengineering approach for maritime environments (Abordagem Integrada de Geoengenharia Costeira em Ambientes Marítimos)*. Universidade de Aveiro. 607 p, 4 Anexos.

Pires A., 2005. Um programa de monitorização sistemática de obras marítimas numa perspectiva da geoengenharia: o caso dos esporões da região de Espinho. Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Politécnico do Porto (IPP). 202 p.

Pires A., 2007. Geoengenharia e inspeção de obras marítimas: da matéria-prima à estrutura de proteção. Universidade de Aveiro. 269 p. (Dissertação de Mestrado).

Pires A. & Chaminé H.I., 2007. Geotechnical mapping evaluation of rock groynes in Espinho area (NW Portugal). Proceedings of the 11th ISRM – International Society for Rock Mechanics, Lisbon. Taylor & Francis Group / Balkema: 307-310.

Pires A., Gomes A. & Chaminé H.I., 2009a. Metodologia de análise e representação gráfica em SIG para avaliação do estado de deterioração de obras de proteção costeira: o caso da obra aderente da Marinha, Espinho. In: Geomorfologia 2008 (4º Congresso Nacional de Geomorfologia). Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Volume VI, APGeom, Braga: 225-230.

Pires A., Rocha F., Piqueiro F., Gomes A. & Chaminé H.I., 2009b. GIS mapping and geoengineering assessment of coastal system structures: GISCOAST project (NW Portugal, Iberia). Abstract of CoastGIS'09, Santa Catarina, Brazil. 73 p.

Pires A., Chaminé H.I., Gomes A., Piqueiro F., Miranda F.S. & Rocha F., 2009c. Cartography and assessment of hydraulic structures from Espinho coastal area (NW Portugal) using high-resolution aerial imagery surveys and a GIS interactive base. Journal of Coastal Research, 56: 1572-1576.

Pires A., Gomes A. & Chaminé H.I., 2009d. Dynamics of Coastal Systems Using GIS Analysis and Geomaterials Evaluation for Groins. Environmental and Engineering Geoscience, 15 (4): 245-260.

Pires A., Chaminé H.I., Pérez-Alberti A., Gomes A. & Rocha F., 2014. Rock strength assessment and structural features analysis on rocky coasts. In: Alejano L.R., Peruchó A., Olalla C. & Jiménez R., (Eds.), Proceedings of Eurock2014, Rock Engineering and Rock Mechanics: Structures in and on Rock Masses (ISRM European Regional Symposium, Vigo, Spain, 26-28 May 2014). CRC Press/Balkema Taylor & Francis Group, London: 1267-1272. (on pen-drive insert, ISRM Paper CH204) [DOI: 10.1201/b16955-164].

Pires A., Chaminé H.I., Piqueiro F. & Rocha F., 2014. Coastal geo-engineering techniques for the assessment of rock armour structures. Marine Georesources & Geotechnology, 32 (2): 155-178.

Pope J. & Curtis W.R., 2005. Innovations in coastal protection. In: Zimmermann C., Dean R.G., Penchev V. & Verhagen H.J., (Eds.), Environmentally Friendly Coastal Protection: 41-56.

Post J.C. & Lundin C.G. [eds.], 1996. Guidelines for integrated coastal zone management (Environmentally Sustainable Development Studies and Monographs Series No. 9). The World Bank, Washington, D.C. 16p.

Proceq, 1977. Hardness Tester EQUOTIP, Patents Applied For, Operating Instructions. 5th edition. Switzerland. 32 p.

Proceq, 2012. Application note: rock and concrete strength. Proceq UK. In: http://www.proceq.com/fileadmin/documents/proceq/Application_Notes/English/Rock_and_Concrete_Strength_2012.01.31.pdf (consultado em Março de 2014).

Proceq, 2013a. Concrete Test Hammer – Original Schmidt. In: <http://www.proceq.com/en/non-destructive-test-equipment/concrete-testing/concrete-test-hammer/original-schmidt.html> (consultado em Maio de 2014).

Proceq, 2013b. Metal Hardness Tester – Equotip 3. In: <http://www.proceq.com/en/non-destructive-test-equipment/metal-testing/portable-hardness-testing/equotip-3.html?pqr=3> (consultado em Janeiro de 2014).

Puertos del Estado, 2012. In: <http://www.puertos.es/es/index.html> (consultado em Julho de 2014).

Ramos L. A. O., 2000. História do Porto. 3ª Edição. Porto Editora. 720 p.

Raper J., 2000. Multidimensional geographic information science. CRC Press.

- Revelle R.R., 1983. Probable future changes of sea level resulting from increasing carbon dioxide. In: Changing Climate, Report of the Carbon Dioxide Assessment Committee. National Academy Press, Washington D. C.
- Ribeiro J. L., 2001. Zonas Húmidas Costeiras e Ordenamento Territorial. Imprensa da Universidade de Coimbra. 326 p.
- Ribeiro A., Munhá J., Dias R., Mateus A., Pereira E., Ribeiro L., Fonseca P.E., Araújo A., Oliveira J.T., Romão J., Chaminé H.I., Coke C. & Pedro J., 2007. Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. *Tectonics*, 26, TC6009: 24 p. doi:10.1029/2006TC002058
- Ribeiro J.L., 2010. Riscos Costeiros – Estratégias de prevenção, mitigação e protecção, no âmbito do planeamento de emergência e do ordenamento do território, (Ed.), ANPC|Autoridade Nacional de Protecção Civil/Direcção Nacional de Planeamento de Emergência. Cadernos Técnicos PROCIV #15. 155 p.
- Ricketts P. J., 1992. Current approaches in Geographic Information Systems for coastal management. *Marine Pollution Bulletin*, 25: 82-87.
- Rijn L. C., 1989. Handbook sediment transport by currents and waves. 2nd Edition. Delft Hydraulics.
- Rocscience, 2013. DIPS, Graphical and Statistical Analysis of Orientation Data. Rocscience Inc. In: <http://www.rocscience.com/products/1> (consultado em Maio de 2014).
- Rodrigues A., Magalhães F. & Dias J. A., 1991. Evolution of the north Portuguese coast in the last 18,000 years. *Quaternary International*, 9: 67-74.
- Roebeling P., Coelho C., Reis E., 2011. Coastal erosion and coastal defense interventions: a cost-benefit analysis. *Journal of Coastal Research*, 64: 1415-1419.
- Russel R. J., 1967. River Plains and Sea Coasts. University of California Press, Berkeley. 173 pp.
- Schwartz M., 1965. Laboratory study of sea-level rise as a cause of shore erosion. *The Journal of Geology*: 528-534.
- Shah-hosseini M., Morhange C., Beni A. N., Marriner N., Lahijani H., Hamzeh M., Sabatier F., 2011. Coastal boulders as evidence for high-energy waves on the Iranian coast of Makran. *Marine Geology*, 290 (1): 17-28.
- Shepard F. P., 1937. Revised classification of marine shorelines. *Journal of Geology*, 45: 602-624.
- Shepard R. N., 1986. Discrimination and generalization in identification and classification: Comment on Nosofsky. *Journal of Experimental Psychology*, 115: 58-61.
- Silayo E.H., 2002. Cartography in a GIS environment. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34 (6): 20-24.
- Silvestre R. & Hsu J. R. C., 1997. Coastal Stabilization. Word Scientific, London.
- Simões J.Z., Afilhado A. & Victor L.M., 1992. Assessing the tsunami risk using instrumental and historical records. *Science of Tsunami Hazards*, 10 (1): 3-7.
- Soares de Carvalho G., 1982. Princípios e alguns problemas de geologia ambiental. Associação Portuguesa de Geólogos, Lisboa. *Geonovas*, 1 (4): 19-30.
- Soares de Carvalho G., 1985. Novos índices de ambiente periglacial no Litoral do Minho, Portugal. In: Atas da I Reunião do Quaternário Ibérico, Lisboa 1985. Grupo de Trabalho Português para o Estudo do Quaternário, Grupo Español de Trabajo del Quaternario – Lisboa: GETC : GTPEQ, 1985 (1): 27-36.
- Sorensen R. M., 2006. Basic Coastal Engineering. 3rd Edition. Springer Science+Business Media, Inc, New York. 324 p.
- Soulsby R., 1997. Dynamics of marine sands. HR Wallingford, London.
- Spencer T., 1988. Coastal biomorphology. In: Viles H. A., (ed), Biogeomorphology. Blackwells, Oxford: 255-318.

- Steers J.A., 1953. *The Sea Coast*. Collins, London. 288 p.
- Stewart R.H., 2008. *Introduction to Physical Oceanography*. Department of Oceanography, Texas A&M University. 345p. In: (http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/PDF_files/book_pdf_files.html) (consultado em Maio de 2014)
- Cavarretta I., O'Sullivan C. & Coop M. R., 2009. Applying 2D shape analysis techniques to granular materials with 3D particle geometries. *Powders and Grains, 1145*: 833-836.
- Sunamura T., 1992. *Geomorphology of Rocky Coasts*. Wiley, New York. 302 p.
- Taborda R. & Dias J. A., 1988. O nível medio do mar em Portugal: tendências sazonais e seculares. Relatório DISEPLA 6/88. 46 p.
- Tanner W. F., 1960. Bases for coastal classification. *Southeastern Geol.*, 2: 13-22.
- Tanter R, 2013. Island Arcs. In: <http://nautilus.org/napsnet/napsnet-policy-forum/china-1-japan-0-allies-beware/#axzz35IHoyGFr> (consultado em Abril de 2014).
- Taveira-Pinto F., 2003. Good practices in coastal zone management and coastal defence. International Workshop, 7-8 June 2002. FCT/EUCC/IHRH/FEUP, Porto.
- Taveira-Pinto F., 2012. Quebramares de Taludes. Unidade curricular: Trabalhos Marítimos 1, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).
- Taveira-Pinto F., Freire R. & Silva R., 2013. Morphodynamic study of Aguda beach detached breakwater, Portugal. *Proceedings from the 7th International Conference on Coastal Dynamics*: 1621-1632.
- Teixeira C., Perdigão J. & Assunção C.T., 1962. Notícia Explicativa da Folha 13-A (Espinho) da Carta Geológica de Portugal à escala de 1:50 000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. 28 p.
- Teixeira C., 1970. Aspetos geológicos da orla litoral do Porto e de V. N. Gaia. *Naturalia*, 10 (1): 13-29.
- Terry J.P. & Goff J., 2014. Megaclasts: proposed revised nomenclature at the coarse end of the Udden-Wentworth grain-size scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*, 84 (3): 192-197.
- Tessler M. G. & Goya S. C., 2005. Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia*, 17: 11-23.
- Thurman H. V., 1997. *Introductory Oceanography*. Prentice Hall, New Jersey. 544 p.
- Trenhaile A.S., 1987. *The geomorphology of rock coasts*. Oxford Research Studies in Geography Series. Oxford University Press, Oxford. 384p.
- Trenhaile A.S., 1997. *Coastal Dynamics and landforms*. Oxford University Press, Oxford. 384 p.
- Trenhaile A.S., 2002. Rocky coasts, with particular emphasis on shore platforms. *Geomorphology*, 48: 7-22.
- Trenhaile A.S., 2011a. Predicting the response of hard and soft rock coasts to changes in sea level and wave height. *Climatic Change*, 109: 599-615.
- Trenhaile A.S., 2011b. Cliffs and rock coasts. In: Wolanski E. & McLusky D.S., (Eds.), *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, Academic Press, Waltham, 3: 171-191.
- Trimble, 2013. Transforming the way the world works. Engineering & Construction, Surveying, Agriculture, Fleet and Field Service Management. In: <http://www.trimble.com/> (consultado em Maio de 2014).
- Udden J. A., 1914. Mechanical composition of clastic sediments. *Bulletin of the Geological Society of America*, 25: 655-744.

USACE – United States Army Corps of Engineers, 1984. Shore Protection Manual, Vol. I. 4th Edition. Coastal Engineering Research Center. Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi. 650 p.

USACE – United States Army Corps of Engineers, 1995. Coastal Geology, Engineer Manual (EM) 1110-2-1810. Engineering and Design, US Army Corps of Engineers, Washington, D.C. In: http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1810.pdf (consultado em Julho de 2014).

USACE – United States Army Corps of Engineers, 2003. Coastal Engineering Manual, Engineer Manual (EM) 1110-2-1100. US Army Corps of Engineers, CHL-RDC, WES, Vicksburg, MS. In: <http://chl.erdc.usace.army.mil/cem> (consultado em Julho de 2014).

Valentin H., 1952. Die Küsten der Erde. Beiträge zur allgemeinen und regionalen Küstenmorphologie. Petermanns Geog.Mitt, Ergänzungsheft. 246 p.

Van der Meer J.W., 1987. Stability of breakwater armour layers – Design formulae. Coastal Eng., 11: 219-239.

Vanney J.R. & Ménanteau L., 2004. Géographie du golfe ibéro-marocain. Instituto Hidrográfico, Lisbon and Casa de Velásquez, Madrid. 228p.

Veloso-Gomes F., 1991. Algumas reflexões sobre a problemática das obras de protecção costeira. In: Atas do 2º Simpósio sobre Protecção e Revalorização da Faixa Costeira do Minho ao Liz, Universidade do Porto: 128-143.

Veloso-Gomes F., Barroco A., Pereira A.R., Reis C.S., Calado H., Ferreira J.G., Freitas M.C. & Biscoito M., 2007. Bases para a Estratégia da Gestão Integrada das Zonas Costeiras. Ed. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. 1ª Edição. 110p.

Veloso-Gomes F., Barroco A., Pereira A.R., Reis C.S., Calado H., Ferreira J.G., Freitas M.C. & Biscoito M., 2008. Basis for a national strategy for integrated coastal zone management in Portugal. Journal of Coastal Conservation, 12: 3-9.

Veloso-Gomes F., 1991. Algumas reflexões sobre a problemática das obras de protecção costeira. In: Atas do 2º simpósio sobre protecção e revalorização da faixa costeira do Minho ao Liz. Universidade do Porto, 1991: 128-143.

Viles H. & Spencer T., 1995. Coastal problems – geomorphology, ecology and society at the coast. Edward Arnold, London. 350 p.

Wadell H., 1932. Volume, shape, and roundness of rock particles. Journal of Geology, 40: 443-451.

Wadell H., 1933. Sphericity and roundness of rock particles. Journal of Geology, 41: 310-331.

Wadell H., 1935. Volume, shape and roundness of quartz particles. Journal of Geology, 43: 250-280.

WCED – World Commission on Environment and Development, 1987. Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development. Published as Annex to General Assembly document A/42/427, Development and International Co-operation: Environment August 2, 1987. In: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> (consultado em Julho de 2014).

Wentworth C. K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. The Journal of Geology: 377-392.

Wiegel R. L., 1964. Oceanographical Engineering. Prentice Hall, Inc / Englewood Cliffs, New Jersey.

Windguru, 2014. In: <http://www.windguru.cz/pt/> (consultado em Março de 2014).

Withnall A., 2014. UK weather: Rain and flood warnings extended after 'Winter Storm Hercules' brings 27ft waves to Land's End and flood sirens in Dorset. In: <http://www.independent.co.uk/news/uk/home-news/uk-weather-torrential-rain-and-flooding-continues-as-winter-storm-hercules-heads-over-from-us-to-add-to-britains-woes-9040902.html> (consultado em Outubro de 2014).

Woodroffe C.D., 2002. Coasts: form, process and evolution. Cambridge University Press, Cambridge. 623 p.

Wooster Geologists, 2009. A world to explore. In:
<<http://woostergeologists.scotblogs.wooster.edu/2011/07/02/using-the-ipad-in-geological-fieldwork/>>
(consultado em junho 2014).

Wright L.D. & Thom B.G., 1977. Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. *Progress in Physical Geography*, 1: 412-459.

Zbyszewski G., 1945. Nouveaux éléments pour l'étude du Quaternaire de la vallée du Tage. Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico da Fac. De Ciências do Porto. 183 p.

Zenkovich V. P., 1967. *Processes of Coastal Development*. Interscience Publishers, New York. 751 p.

Zingg T., 1935. Beitrag zur Schotteranalyse. Die Eidgenössische Technische Hochschule in Zurich. (Tese de Doutoramento).