

Universidade de Lisboa  
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território  
Departamento de Geografia



# **EVOLUÇÃO ACTUAL DO LITORAL FOZ DO LIZANDRO – MALHADINHA**

**Maria Francisca Falcão e Cunha de Campos Gusmão**

**Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território**

**2010**

Universidade de Lisboa  
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território  
Departamento de Geografia



Maria Francisca Falcão e Cunha de Campos Gusmão

# **EVOLUÇÃO ACTUAL DO LITORAL FOZ DO LIZANDRO – MALHADINHA**

Tese orientada pelo Professor Doutor Mário Neves

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

2010

*À Margarida*

## RESUMO

Actualmente, existe um interesse crescente no estudo da dinâmica litoral, com destaque para a avaliação das taxas de recuo da linha de costa e para a determinação dos factores actuantes e dos processos que controlam a evolução actual da faixa costeira.

A dissertação teve como objectivos: caracterizar geomorfologicamente a faixa costeira Foz do Lizandro – Malhadinha (Ericeira); identificar os factores e os processos de evolução das formas elementares que compõe o sistema litoral.

O estudo baseou-se fundamentalmente em trabalho de campo e de laboratório, bem como na análise de fotografias terrestres e na comparação de fotografias aéreas e de ortofotomapas.

Este litoral caracteriza-se por compreender essencialmente dois sistemas litorais fundamentais: sistema praia-arriba e sistema plataforma rochosa de sopé-arriba. Identifica-se também, um sistema intermitente em que a plataforma se encontra alternadamente descoberta e coberta por areia. Das análises efectuadas destacam-se: a identificação detalhada da morfologia da área; a litologia aflorante e as suas características, incluindo a natureza e resistência das rochas e a estrutura geológica; e a presença de depósito de material sedimentar, com referência à sua natureza e a alguns parâmetros morfométricos.

Os sistemas litorais evidenciam a acção dos processos de evolução com diferentes magnitudes na dinâmica actual, com destaque na relação entre os processos marinhos e subaéreos e a presença ou não dos processos biológicos.

O estudo da evolução da arriba foi feito com base na análise dos depósitos acumulados na base da arriba, com o intuito de compreender quais os processos dominantes (marinhos e/ou subaéreos). O estudo da plataforma rochosa de sopé foi realizado com base nas taxas de rebaixamento efectuadas entre Setembro de 2007 e Maio de 2009, com recurso ao TMEM, e realizados no âmbito do projecto BISHOP (PTDC/CTTE-GEX/70448/2006), sendo também analisados dados ambientais referentes a este período. Os resultados alcançados permitiram identificar alguns dos processos envolvidos na evolução das plataformas.

Não foi possível quantificar uma taxa de recuo precisa neste troço litoral, sendo apenas possível inferir que se tratava de uma arriba com uma dinâmica actual onde predominam movimentos de vertente de pequena magnitude, nem sempre originando recuo do alto da arriba. A plataforma rochosa de sopé, apresentou uma taxa de rebaixamento anual médio de 0,399 mm/ano, para uma faixa entre-marés inferior mais próxima do mar, e de 0,202 mm/ano para uma área nas proximidades da base da arriba.

**Palavras-chave:** Geomorfologia Litoral; sistemas litorais; litorais rochosos; taxas de rebaixamento de plataformas rochosas de sopé; Foz do Lizandro (Ericeira).

## ABSTRACT

There has been an increased interest in the research of coastal dynamics, particularly the evaluation of coastline retreat rates and the determination of active factors and of processes that control the coastline evolution.

This dissertation aims to: characterize the geomorphology of the stretch Foz do Lizandro - Malhadinha (Ericeira); identify the factors and the processes of evolution of the elementary forms that compose the coastal global system of this area.

The study was based primarily on field work, laboratory analysis, as well as land photographs and the comparison of aerial photographs and orthophotomaps.

This rocky coast has two main systems: beach-cliff system and shore platform-cliff system. A discontinuous system was also identified in which the platform is either exposed or covered by sand. This study focused on: the identification and classification of the coastal stretch morphology; the lithology (including the rock nature and strength) and the geological structure; and the presence of slope deposits, analyzing its nature and some dimensional parameters.

In detail, the different coastal systems demonstrate the action of evolutionary processes with different magnitudes, with emphasis on the relationship between marine processes and sub-aerial processes and also the presence or absence of biological processes.

The study of the evolution of the cliff was based on analysis of the deposits accumulated at the base of the cliff in order to understand which were the dominant processes (marine and/or sub-aerial). The study of the shore platform was supported by the determination of the downwearing rates, using a TMEM, carried out between September 2007 and May 2009 and were carried out under the project BISHOP (PTDC/CTTE-GEX/70448/2006). Environmental data for this period was also analyzed. The results have identified some of the processes involved in the evolution of the shore platforms.

It was not possible to quantify the rate of retreat of the coastline, but it was possible to conclude that is a cliff where landslides of small magnitude often occur, not always affecting the cliff top. The shore platform had a rate of downwearing of 0.399 mm/year in an intertidal zone closest to the sea, and 0.202 mm/year on an area near the base of the cliff.

**Key words:** Coastal Geomorphology; Coastal systems; rocky coasts; shore platform downwearing rates; Foz do Lizandro (Ericeira).

## EVOLUÇÃO ACTUAL DO LITORAL FOZ DO LIZANDRO – MALHADINHA

<b>AGRADECIMENTOS</b>	viii
<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO</b>	1
I.1 INTRODUÇÃO	1
I.2 PROCESSOS E FACTORES NA EVOLUÇÃO DO LITORAL	3
<b>CAPÍTULO II – ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO – FOZ DO LIZANDRO - MALHADINHA</b>	12
II.1 ENQUADRAMENTO GERAL E LOCALIZAÇÃO	12
II.2 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL	12
II.2.1 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO	12
II.2.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	16
<b><u>VENTO</u></b>	16
<b><u>NEVOEIRO</u></b>	19
<b><u>TEMPERATURA</u></b>	20
<b><u>PRECIPITAÇÃO</u></b>	21
<b><u>HIDROLOGIA CONTINENTAL</u></b>	22
<b><u>HIDROLOGIA MARÍTIMA</u></b>	24
Ondulação	24
Deriva litoral	25
<i>Upwelling</i>	26
Marés	26
<i>Storm surge</i>	27
<b>CAPÍTULO III – MÉTODOS DE ESTUDO</b>	28
III.1 INTRODUÇÃO	28
III.2 TRABALHO DE CAMPO	28
<b>LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS</b>	28
<b>LEVANTAMENTOS MORFOLÓGICOS</b>	31
<b>CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA</b>	32
<b>IDENTIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS</b>	33
<b>IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE EVOLUÇÃO NA ARRIBA</b>	33
<b>MONITORIZAÇÃO DA PLATAFORMA ROCHOSA DE SOPÉ</b>	34
<b>DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS ROCHAS COM O MARTELO DE SCHMIDT</b>	36
III. 3 TRABALHO DE LABORATÓRIO	38

<b>ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO</b>	39
<b>Propriedades índice</b>	39
<b>ENSAIOS DE RESISTÊNCIA</b>	42
<b>A) Ensaio de corte directo</b>	42
<b>B) Ensaio de compressão uniaxial</b>	43
<b>C) Ensaio Brasileiros</b>	44
III. 4 ANÁLISE DE FOTOGRAFIAS AÉREAS	44
<b>CAPÍTULO IV – CARACTERIZAÇÃO E EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA.</b>	46
IV.1 INTRODUÇÃO	46
IV.2 SISTEMA PRAIA-ARRIBA – PRAIA DA MALHADINHA	61
IV.2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS	61
IV.2.2 LITOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS	62
IV.2.2 A) LITOLOGIA	62
IV.2.2 B) CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	63
IV.2.3 MORFOLOGIA DO SISTEMA E A SUA EVOLUÇÃO	66
IV.2.4 ANÁLISE DE RESULTADOS	70
IV.2.5 CONCLUSÃO	72
IV.3 SISTEMA PLATAFORMA-ARRIBA	74
IV.3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS	74
IV.3.2 LITOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS	75
IV.3.3 MORFOLOGIA DO SISTEMA E A SUA EVOLUÇÃO	75
IV.3.4 ANÁLISE DE RESULTADOS	93
IV.3.5 CONCLUSÃO	96
IV.4 SISTEMA INTERMITENTE	99
IV.4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS	99
IV.4.2 LITOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS	99
IV.4.3 MORFOLOGIA DO SECTOR E A SUA EVOLUÇÃO	100
IV.4.4 ANÁLISE DE RESULTADOS	102
IV.4.5 CONCLUSÃO	102
<b>CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	104
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	109
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	116
<b>ÍNDICE DOS QUADROS</b>	121
<b>ANEXOS</b>	124

## AGRADECIMENTOS

Devo agradecer a todos que participaram activamente ou indirectamente para a sua realização:

- ao Centro de Estudos Geográficos do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, pelo acolhimento, disponibilidade de material necessário para a realização deste trabalho;

- ao Professor Doutor Mário Neves, por toda ajuda, conselhos, esclarecimentos, opiniões, disponibilidade;

- ao Professor Doutor Fernando Marques por toda ajuda, disponibilidade, conselhos – muito obrigada;

- à Professora Doutora Ana Ramos Pereira, pela oportunidade de poder fazer parte do núcleo de investigação SLIF, pelo incentivo e pelo conhecimento transmitido;

- ao Dr. Jorge Trindade pelo tempo dispensado e pelas horas longas de trabalho de campo;

- à Raquel Paixão, por todo o trabalho de campo, das horas a fio de trabalho, das grandes conversas e principalmente da amizade;

- ao Bruno Borges; Carlos Freitas; Vítor Jorge e Pedro Palma, pelas boas conversas, gargalhadas e jantaradas ao longo deste tempo;

- a todos os bolseiros do Centro de Estudos Geográficos;

- a todos os que tiveram o prazer de fazer parte do trabalho de campo;

- aos meus amigos, em especial: Xininha; Lara; Filipe; Jô (mesmo longe, sempre presente), por toda a companhia, pelos momentos e pelas angústias; obrigada.

- à DHV, SA, que para além de me ter dado a oportunidade de colaborar como estagiária e consultora júnior, disponibilizou espaço e tempo para a realização da etapa final da dissertação;

- finalmente, à minha família, que apesar de tudo, estiveram sempre ao meu lado em todos os momentos e que sem a sua presença não teria sido possível: Luísa; Joaquim; Margarida; Pedro; João; Joana; Ana Margarida e a mais pequena, Beatriz.

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

#### I.1 – INTRODUÇÃO

No último século, as zonas costeiras têm sido alvo de ocupação intensa por parte da população de tal modo que actualmente cerca de dois terços das cidades mundiais estão próximos do litoral ou a menos de 100 km da linha de costa (Andrade, 1998).

Em Portugal, três quartos da população vivem junto ao litoral (Andrade, *et al.* 2002) o que tem implicado um enorme investimento na fixação antrópica, não sustentado, frequentemente por um correcto ordenamento do território. Assim, têm sido progressivamente ocupadas áreas onde a perigosidade é mais elevada, uma vez que existe uma incompatibilidade entre sistemas naturais costeiros e o desenvolvimento antrópico (Dias, 2005). Assim têm sido ocupadas áreas que põe em risco quer os sistemas naturais quer a segurança humana.

Os principais factores para a ocorrência da erosão costeira são fundamentalmente as acções antrópicas, actuando quer no próprio sistema costeiro quer em sistemas complementares. Um exemplo destes factores é a construção de barragens em cursos de água reduz o transporte de sedimentos e o fornecimento dos mesmos ao sistema litoral. Também a construção de estruturas transversais à linha de costa que funcionam como barreiras à deriva litoral (transporte de sedimentos), pode ser um factor de promoção da erosão costeira. Há a acrescentar as acções do homem e as alterações climáticas.

A Ericeira não é excepção. Esta pequena vila piscatória no litoral rochoso da Estremadura constitui um forte atractivo, que tem vindo a crescer ao longo dos tempos, implicando a construção crescente de zonas habitacionais assim como de infraestruturas de apoio às praias.

O interesse e a necessidade de se conhecerem os factores e os processos que estão envolvidos na dinâmica dos litorais rochosos permitiu o desenvolvimento desta dissertação, tendo como base o estudo geomorfológico, a identificação dos factores, dos processos e dos ritmos de evolução das formas elementares que compõem o sistema litoral a Norte da Foz do Lizandro.

Foi como bolsista de investigação no âmbito do projecto BISHOP, (*Bioprotection and bioerosion on shore platform in the Algarve and Estremadura (Portugal South and west coast)* – PTDC/CITE-GEX/70448/2006) financiado pela FCT (Fundação da Ciência e Tecnologia), coordenado pela Prof. Dra. Ana Ramos Pereira e sob a orientação do Prof. Dr. Mário Neves (do Centro de Estudos Geográficos), que o trabalho foi desenvolvido.

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos distintos: o capítulo I descreve essencialmente a razão da dissertação, no que consiste e os objectivos do trabalho, assim como uma descrição geral do tema escolhido.

No capítulo II refere-se ao enquadramento geral da área de estudo, abordando a caracterização geológica e geomorfológica e a caracterização ambiental. O capítulo III descreve toda a metodologia utilizada para a realização desta dissertação, indicando o trabalho de campo e de laboratório realizado.

O capítulo IV corresponde ao desenvolvimento de todo o trabalho, uma caracterização geomorfológica detalhada, no qual há uma descrição detalhada de toda a área e os resultados daí inerentes.

O Capítulo V apresenta as conclusões que se puderam extrair do estudo efectuado, indicando os processos dominantes neste litoral.

## I.2 – PROCESSOS E FACTORES NA EVOLUÇÃO DO LITORAL

O litoral, segundo Ramos-Pereira (2001) “é constituído pelas áreas emersas e submersas em que ocorrem trocas transversais entre as diferentes esferas que se entrecruzam” dependente da dinâmica do mar. Trata-se de uma faixa, em que ocorre um conjunto de processos que determinam as suas dimensões, podendo ocorrer acreção ou remoção de material.

O termo litoral rochoso – *rock coast* – é utilizado como referência geral para sectores litorais em que predomina o afloramento do substrato rochoso, geralmente sob a forma de arribas e plataformas litorais (Trenhaile, 2002). Os litorais rochosos correspondem a faixas de contacto de oceano-continente periódico ou permanentemente emerso, talhado em material coerente, e cuja evolução recente e/ou actual é condicionada directa ou indirectamente pela acção de processos marinhos (Neves, 1995). Além dos processos marinhos, alguns autores consideram que os litorais rochosos interagem também com processos antropogénicos (Andriani e Walsh, 2007). Neves propõe apenas duas formas litorais rochosas principais: plataforma rochosa de sopé e arriba.

Ao longo do tempo, foram sugeridas várias terminologias para a designação de plataformas rochosas do litoral. Em Portugal a terminologia mais comum é a de “plataforma de abrasão” traduzida à letra pela designação inglesa – *abrasion platform*. Neste caso, o único factor actuante, para a sua evolução, é acção da ondulação, que vai talhando a plataforma herdada pelo recuo da arriba. No entanto, existem outras designações inglesas dependendo da morfologia, dos factores actuantes e de localização: *shore platforms*, *benches*, *wave-cut benches*, *wave-cut platforms*, *wave-cut terraces*, *wave ramps*.

Assim, Pethick (1984), refere-se a *shore platform*, como a consequência do processo da erosão da arriba e a remoção subsequente de detritos através da acção do mar, causando o recuo da linha de costa. É assim deixada a antiga vertente marcando o menor nível de erosão. Podendo ser consideradas existem três grupos de plataformas: as de superfícies horizontais no nível de maré alta, as de superfícies horizontais ao nível de maré baixa; e as de superfícies declivosas entre os dois níveis de maré (Bird (1968, in Pethick 1984)).

Mais recentemente a *shore platform* é definida por Trenhaile (1997), como superfície rochosa de erosão criada pelo recuo das arribas costeiras, estando a sua morfologia ligada a factores locais (ondulação, geologia e factores atmosféricos), distinguido quatro tipos principais de plataformas (plataformas subhorizontal, supra-, inter- ou subtidal). Em 2006, Dickson descreve de forma simplista, que as plataformas rochosas são superfícies planares que ocorrem na base das arribas marinhas resultando do seu recuo. Para Twidale *et al.* (2005), o termo *wave-cut terrace* corresponde à forma erosiva resultante do ataque das ondas, formando posteriormente um terraço.

No entanto, outros autores consideram que a terminologia *wave-cut platform* deva ser aplicada apenas a plataformas de litologia branda onde os processos são estritamente provenientes da acção hidráulica das ondas (Bird, 2008). Processos de erosão e de meteorização contribuem para

a morfologia das *shore platforms*, indicando, a estabilidade da zona costeira num determinado período de tempo.

Como a génese e os processos de formação que ocorrem nas plataformas não estão bem esclarecidos (Sunamura, 1992), propõe como terminologia mais apropriada – *shore platform*, mas separando-a em dois tipos: as de tipo A – plataformas que inclinam suavemente para o mar; e as de tipo B – plataformas horizontais (Sunamura, 1992) (Fig. 1.1). Para além destes dois tipos de plataforma, o mesmo autor distingue outra morfologia – *plunging cliffs* (arriba mergulhante), nas situações em que a plataforma rochosa de litoral ainda não está desenvolvida.

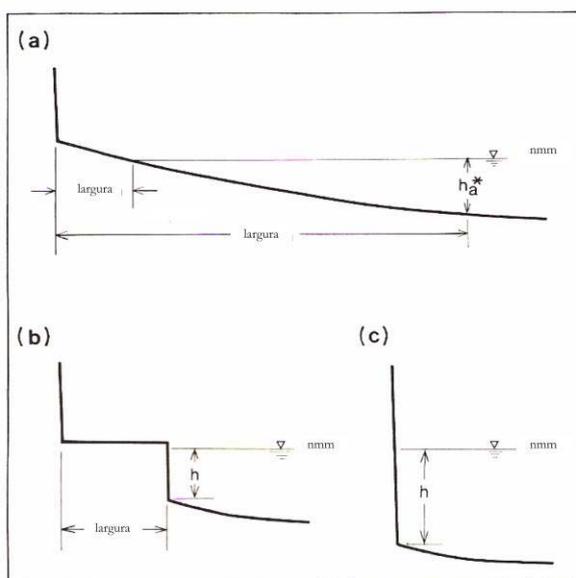


Fig. 1.1: Tipos de plataforma rochosa de sopé. A) Tipo A, b) Tipo B e c) *plunging cliff* (arriba mergulhante). Adaptado de Sunamura, 1992.

É a relação existente entre a força de resistência da rocha e a força erosiva das ondas que determina a distinção entre as morfologias das plataformas dos tipos A e B com as das *plunging cliffs*, desenvolvendo-se plataformas quando a resistência é inferior à força erosiva (Tsujiimoto (1987, in Stephenson (2000)).

Para o presente trabalho foi aceite a terminologia de Ramos-Pereira (1998) e a definição dada por Neves (2004): A plataforma rochosa de sopé é definida como a superfície rochosa sub-horizontal ou com fraco declive situada na base da arriba e talhada por acção directa da ondulação ou por processos (físicos, químicos e/ou biológicos) ligados à presença da água do mar.

A origem das plataformas rochosas de sopé tem sido tema de estudo, principalmente por investigadores australianos e por ingleses, discutindo-se se é resultante de processos erosivos ligados à acção das ondas ou consequência da acção de processos de meteorização (Trenhaile, 1980; Kennedy & Beban, 2005).

Actualmente, os estudos sobre as plataformas rochosas de sopé abrangem a determinação dos processos marinhos e subaéreos que condicionam a evolução das plataformas, a modelação do seu desenvolvimento e as medições das taxas de rebaixamento (Stephenson, 2000). Embora diversos autores reconheçam a importância dos processos relativos à acção das ondas e à acção de meteorização na evolução das plataformas, não explicitam a contribuição relativa de cada um, ou seja, não definem qual o processo dominante (Trenhaile, 1980; Stephenson, 2000; Stephenson & Kirk, 2000a, 2000b; Dickson, 2006 e Kennedy & Dickson, 2006). Para além de ser necessário perceber o desenvolvimento das plataformas rochosas de sopé é também necessário ter em consideração a magnitude e a frequência dos processos marinhos e subaéreos.

A plataforma rochosa de sopé e a base da arriba são caracterizados, para além de um conjunto de processos relativos à acção das ondas e à meteorização, por outro componente, não menos importante a acção biológica (Trenhaile, 1980; Stephenson, 2000; Stephenson & Brander, 2003; Neves, 2004 e Gómez-Pujol *et al.*, 2006).

A acção da ondulação na base da arriba está dependente da profundidade da água junto à arriba – variável com as oscilações do nível do mar ligadas às marés – do declive da plataforma continental próxima e das características das ondas junto ao litoral (Trenhaile, 1997). A acção das ondas pode ser dividida em acção hidráulica e acção mecânica. A acção hidráulica corresponde ao efeito de choque, à pressão hidrostática e à compressão do ar preso em descontinuidades/fissuras e poros das rochas, gerando-se forças de pressão, tensão e de corte, que provocam o desagregamento de blocos rochosos (Sunamura, 1992; Trenhaile, 1997; Stephenson & Kirk, 2000a). Estes processos requerem a alternância da presença/ausência da água. Por sua vez, a acção mecânica das ondas – abrasão – é resultante do impacto, desgaste e raspagem. Neste caso, é necessário que haja sedimentos (areias ou fragmentos rochosos) e energia suficiente para os mover por arraste ou por rolamento na plataforma rochosa. Estes sedimentos podem ser atirados contra a face da arriba, provocando tensões na superfície rochosa, que aumentam com o volume e/ou da velocidade de impacto das partículas (Sunamura, 1992). A acção mecânica está concentrada nas zonas superiores das plataformas rochosas, junto ao sopé da arriba (Pethick, 1984, Sunamura, 1992).

A meteorização do material rochoso consiste na modificação *in situ*, à superfície terrestre ou próximo dela, por acção de um conjunto de processos físicos e químicos (Wells *et al.*, 2008); ligados a agentes atmosféricos, hidrológicos e biológicos, que, diminuindo a resistência do substrato rochoso, originam a sua fragmentação e/ou alteração (Sunamura, 1992).

A meteorização física agrupa um conjunto de processos: (1) a hidroclastia, alternância de estados de hidratação e de dessecação (*wetting-drying*) que provoca a fragmentação do material; (2) a haloclastia (*salt crystallisation*), meteorização pelo sal, depende fortemente da porosidade, do limite de absorção de água e do teor de água de saturação, provocando a deposição do sal na superfície rochosa e nas cavidades que o *spray* marinho consegue alcançar; com a evaporação da água o sal cristaliza, aumenta o volume e cria pressão nas fissuras da rocha; (3) os sucessivos ciclos de gelo-

degelo podem provocar um processo físico – crioclastia (*frost action*) – que por preenchimento dos espaços no interior da massa rochosa e por sucessiva cristalização do gelo, provoca alargamento das descontinuidades, acabando por provocar a fragmentação (Trenhaile, 1997; Bird, 2008).

A meteorização por processos químicos existe na presença de instabilidade química da maioria dos minerais, agrupando um conjunto de processos que resultam de intervenção de reacções entre elementos químicos das rochas e água, sendo os principais: a hidrólise e a troca iónica, a oxidação/redução, a hidratação e a dissolução/precipitação. As consequências destas reacções são variáveis em função dos tipos litológicos, da sua textura e composição mineralógica e das condições do clima.

De uma maneira geral, a análise da susceptibilidade à meteorização das rochas deve ter em conta as variações texturais, a resistência das ligações, o grau de fracturação, a permeabilidade, a porosidade, o grau de saturação e o limite de absorção de água, assim como a presença/ausência da microfracturação e a estrutura do maciço rochoso (fundamentalmente a orientação e o espaçamento das descontinuidades) (Marques, 1997; Neves, 2004).

Também a actividade biológica marinha pode provocar a diminuição da resistência da superfície rochosa (Sunamura, 1992). Ou seja, em condições favoráveis para a ocorrência dos processos bioquímicos, os microrganismos apresentam-se como o factor dominante na alteração química da rocha, causando a remoção directa de material rochoso – bioerosão (*bioerosion*) – tratando-se do processo mais comum em regiões tropicais (Trenhaile, 1997; Bird, 2008). Neumann (1966, *in* Schwartz, 2005) define o termo bioerosão, como a remoção de material rochoso devido à acção directa dos organismos. Como tal, os processos bioerosivos podem contribuir na meteorização e remoção de material, desenvolvendo a morfologia da plataforma rochosa de sopé.

Para além da colonização de organismos que destroem o substrato rochoso, é possível encontrar alguns organismos que promovem a bioprotecção na superfície rochosa – por exemplo algas ou cracas – que impedem que ocorra meteorização e erosão.

No contexto deste estudo foi também abrangida a arriba dos litorais rochosos. Em 2004, Goudie (2006), define arriba como sendo uma vertente (com  $> 40^\circ$  de declive ou vertical) que expõe formações rochosas, em que na sua base ocorre o processo de abrasão proveniente das ondas

Neves (2004), optou por uma definição mais completa –“ a arriba é uma forma erosiva com declive forte, talhada em rochas coerentes, localizada frente ao mar, que evolui, no sector cimeiro por processos subaéreos, frequentemente condicionados pela instabilização provocada na base por acção directa da ondulação ou por processos (físicos, químicos e/ou biológicos) ligados à presença da acção do mar”.

Actualmente, é considerado que a evolução das arribas reflecte o balanço entre a erosão marinha na base e a erosão subaérea na face da arriba. São influenciadas pela geologia (litologia,

estrutura e a resistência dos materiais) (Hapke *et al.*, 2009) da arriba e pelo *stress* imposto na arriba devido à gravidade e à energia cinética das ondas na base, dando resposta aos processos de meteorização e subaéreos (Lee, 2008; Bird, 2008; Marques, 2006; Del Rio *et al.*, 2009; Kumar *et al.*, 2009). Deste modo, é possível agrupar em quatro conjuntos os processos actuantes na evolução da arriba: a meteorização, a acção das ondas, a erosão hídrica e os movimentos de vertente.

A erosão hídrica afecta arriba através: (1) do escoamento superficial, que origina formação de canais de escoamento das águas pluviais, paralelos às linhas de maior declive, afectando o material brando e dependendo de precipitações intensas e concentradas; (2) do escoamento sub-superficial, compreendendo a formação de canais subterrâneos que originam nascentes na face da arriba, normalmente ligados à ocorrência de materiais permeáveis à superfície e impermeáveis em profundidade, conduzindo à instabilização do material sobrejacente.

Os processos de evolução da arriba através dos movimentos de vertente podem ocorrer nos mais variados contextos geológicos e morfológicos (Marques, 2009; Del Rio *et al.*, 2009). No caso dos solos e rochas muito brandas, os movimentos podem ser relativos a: escorregamentos rotacionais com componente de deslocamento vertical (*slumps*), escorregamentos translaccionais (*planar slide*), originados por discontinuidades naturais ou zonas de fraqueza planares (afectam também as rochas), e deslizamentos não rotacional (*non-rotational*); tombamentos/balançamentos (*toppling*) e movimentos do tipo fluxo que inclui os fluxos de detritos, de lamas, de blocos, etc. Segundo Bromhead (1986), Sunamura (1992), Kotze (2007) e Moore *et al.* (2009), os movimentos de massa principais, em rocha, são: (1) aos desabamentos (*fall*), que correspondem a uma separação imediata do material face à unidade litológica, por acção da gravidade; (2) os balançamentos (*topple*); (3) os fluxos (*flow*), termo utilizado quando o material fino se desagrega e tende a mover-se, estes movimentos ocorrem especialmente em períodos de chuvas; e (4) os três tipos de deslizamentos (*slide*) que são movimentos de materiais ao longo de uma superfície de ruptura bem definida (Fig. 1.2).

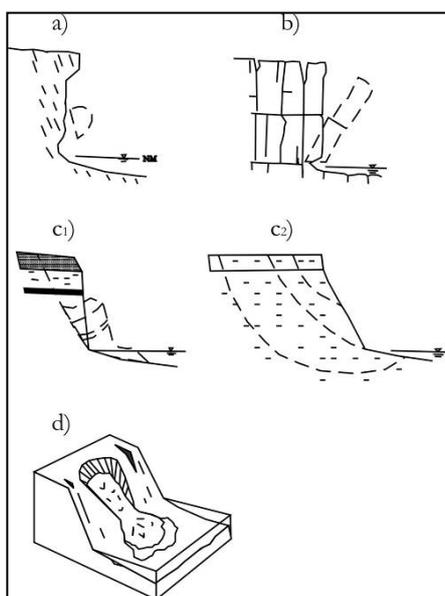


Fig. 1.2: Tipo de movimentos de massa: a) desabamento, b) balançamento, c1) deslizamento planar, c2) deslizamento rotacional e d) fluxo (*flow*). Adaptado de Sunamura, 1992.

Os desabamentos podem apresentar três modalidades de movimentos: queda livre, ressalto na superfície declivosa e rolamento sobre a superfície. O primeiro tipo de movimento ocorre em superfícies muito declivosas ou quase verticais que, segundo Ritchie (1963, *in* Dorren, 2003), acontece se o gradiente de declive é inferior ao potencial da queda, excedendo 70°. Neste caso os blocos de rocha podem sofrer movimentos translacionais e rotacionais em torno do seu centro.

O ressalto junto à superfície declivosa ocorre se o gradiente médio do declive diminui nas secções inferiores da arriba, os blocos colidem com a superfície após a queda livre. Este movimento ocorre quando a superfície tem um gradiente aproximadamente superior a 45° e inferior a 70°. Após este movimento de ressalto, é possível, que os blocos de rocha se movam por rolamento, onde a superfície atinge declives inferiores a 45°, e, já próximo do fim do desabamento, por deslizamento. Os blocos param quando há perda de energia devido à fricção. Esta não depende apenas da forma dos blocos mas também das características da superfície. A velocidade dos movimentos depende essencialmente do declive da superfície, do tamanho dos blocos e da cobertura da superfície (por exemplo solo, vegetação).

A arriba torna-se instável quando as ondas entram em contacto com a base da arriba, provocando erosão basal e aumento de declive. A erosão da base é maior quando ocorrem grandes tempestades, talhando a base por pressão hidráulica, do impacto das ondas, e/ou pela acção abrasiva das ondas juntamente com fragmentos rochosos (Sunamura, 1992; Bird, 2008). A instabilidade vai induzir movimentos de massa costeiros que podem ter várias formas: *topples* e *flows* (Sunamura, 1992), provocando recuo do topo da arriba (Dong, 2005) (Fig. 1.3).

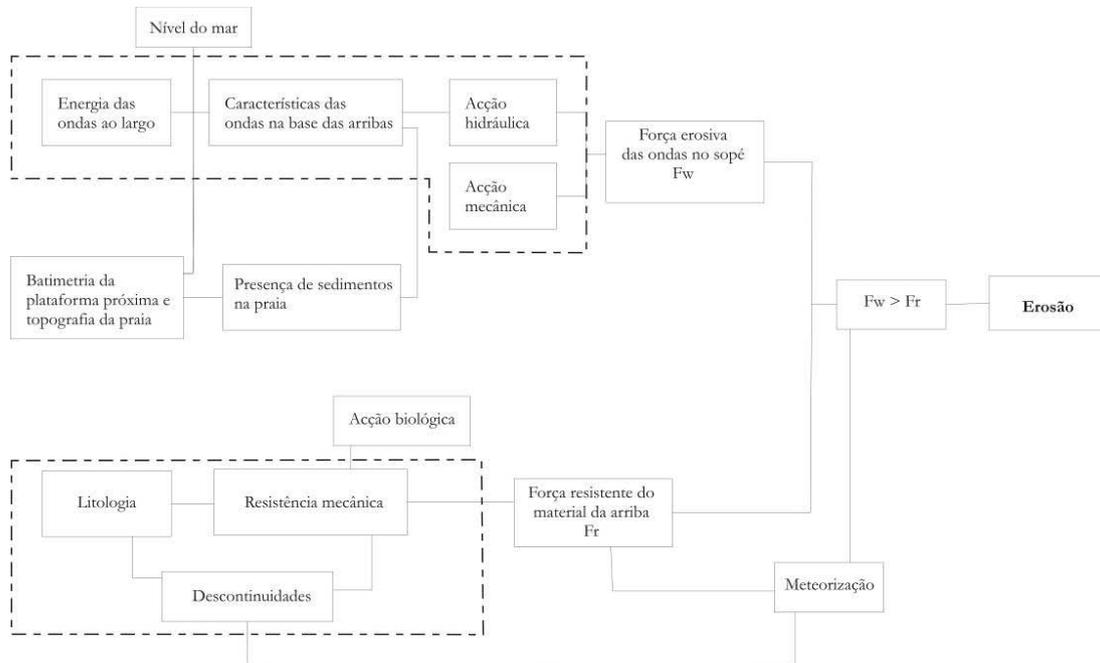


Fig. 1.3: Factores que afectam a erosão da base da arriba. Adaptado de Sunamura, 1992.

Os movimentos de massa afectam principalmente afloramentos rochosos meteorizados e enfraquecidos, podendo também ocorrer em sedimentos não consolidados em arribas costeiras. A instabilidade desenvolve-se quando se chega a um limiar onde ocorre um aumento na tensão tangencial ou uma diminuição na tensão normal, que em resposta provoca um movimento descendente. Segundo Richards & Lorriman (1987), o factor activo principal para o desencadeamento de movimentos de massa depende, essencialmente, das taxas relativas de erosão basal e da meteorização.

Os movimentos de massa vão fornecer material na base da arriba que é consumido ou removido pela acção das ondas, com maior ou menor rapidez. Este depósito suspende a erosão basal da arriba durante um período, variando consoante a energia das ondas e a dimensão dos materiais envolvidos. Com a acção contínua, o depósito é reduzido e disperso, sendo transportado pelas ondas e pelas correntes.

Segundo o estudo de May e Heeps (1985, *in* Bird, 2008), o recuo das arribas do N de França e Sul de Inglaterra devem-se, fundamentalmente, à queda de blocos causado pela saturação das rochas (após uma forte precipitação) e pela diferença térmica. Os blocos são gradualmente consumidos pela meteorização e pela corrosão e removidos pela acção das ondas. De acordo com outros autores (Komar e Shih, 1993; Ruggiero *et al.*, 2001, *in* Lee (2008)) as dimensões da praia na base da arriba influenciam a erosão na base da mesma, tendo concluído que quanto maior a extensão e a elevação da praia, menor será o ataque das ondas na base e conseqüentemente menor a erosão basal da arriba.

Em suma, a combinação da resistência intacta da rocha, a presença e geometria de descontinuidades (frequência, orientação, persistência, abertura, rugosidade) com o ambiente em que se encontra a arriba (quantidade de água presente e colonização de vegetação) permite controlar o comportamento do declive da arriba (Moore *et al.*, 2009).

Em 1947, Shepard and Grant (*in* Pethick, 1984) listam uma série de factores que controlam a erosão da arriba: resistência da rocha, fraqueza estrutural, configuração da linha de costa, a solubilidade da rocha, altura da arriba, a natureza do ataque das ondas, etc. Mais tarde, outros autores determinam quais os processos envolvidos na evolução: corrosão, atrito, acção hidráulica, acção biológica, processos subaéreos e a acção humana (Pethick, 1984).

Os processos actantes, quer nas plataformas rochosas de sopé quer nas arribas são dependentes de um conjunto de factores: factores geomorfológicos; factores climáticos; factores hidrológicos continentais e marinhos; factores biológicos e factores antrópicos.

Os factores geomorfológicos estão intimamente ligados: à localização e orientação da linha de costa; à morfologia herdada em resultado da acção de processos actuais; à litologia que condiciona a resistência do material aflorante ao ataque dos agentes erosivos; à textura (granulometria, cimento, porosidade e conseqüentemente a permeabilidade e a susceptibilidade à

meteorização); à estrutura (espessura e inclinação) e à estratificação, contribuindo estes últimos para a diminuição da resistência da massa rochosa ao ataque dos agentes erosivos.

A temperatura está na base da termoclastia e condiciona a crioclastia e haloclastia (bem como a colonização da fauna e flora marinha). Também a precipitação condiciona as reacções químicas inerentes aos processos químicos permitindo uma maior concentração de água para os processos ligados à erosão hídrica favorecendo os movimentos de massa. Os restantes factores climáticos – vento e humidade – têm menor importância mas também são relevantes. O vento condiciona a ondulação e associado a outros agentes erosivos pode criar formas particulares. A humidade (através do nevoeiro) pode provocar a ocorrência de processos químicos, assim como a saturação do material mais brande.

Os factores hidrológicos continentais podem estar ligados: ao escoamento subaéreo, que está fortemente dependente da frequência e intensidade das precipitações e das características principais do maciço rochoso; e ao escoamento sub-superficial, que depende do volume da precipitação anual e da presença de uma camada superficial permeável sobre unidades impermeáveis. Desta forma podem ocorrer nascentes que se podem situar numa zona emersa condicionando a evolução da arriba, numa zona entre-marés mantendo permanentemente o substrato rochoso húmido e numa zona submersa não apresentando influência significativa.

Os factores hidrológicos marinhos compreendem a ondulação e as marés, sendo as ondas o agente erosivo mais agressivo, sendo por isso importante a determinação da altura, da direcção das ondas e da existência de tempestades. A ondulação juntamente com o vento permite a ocorrência do *spray* marinho e consequentemente do transporte do sal e a sua cristalização. A tipologia e a amplitude das marés determinam a energia da ondulação, a colonização de espécies e os ciclos de hidratação-dessecação.

A influência antrópica nas zonas costeiras é um factor importante e incompatível com os sistemas naturais presentes (Dias, 2005; Oliveira, 2005). A instalação de equipamentos urbanos (casas, muros, esgotos, estradas, etc.) provoca pressões e vibrações sobre a arriba e a destruição da vegetação natural do sistema. Assim, há redução da infiltração das águas aumentando as águas de escorrência superficial, alterando o sistema natural.

A meteorização da arriba é disputada pelo clima através de processos físicos, que desagregam a superfície rochosa, processos químicos, que decompõem a rocha e processos biológicos que podem atacar ou proteger a rocha. Estes processos vão depender parcialmente de condições subaéreas e da proximidade ao mar. Deste modo, as rochas são decompostas e desintegradas pela meteorização através da precipitação, de regimes térmicos e de episódios de evaporação (Bird, 2008).

Como tal, a morfologia da arriba é dificilmente classificada com base no regime climático e marinho, no entanto, é possível classificá-las com alguns padrões morfogenéticos (Schwartz, 2005) (Fig. 1.4).

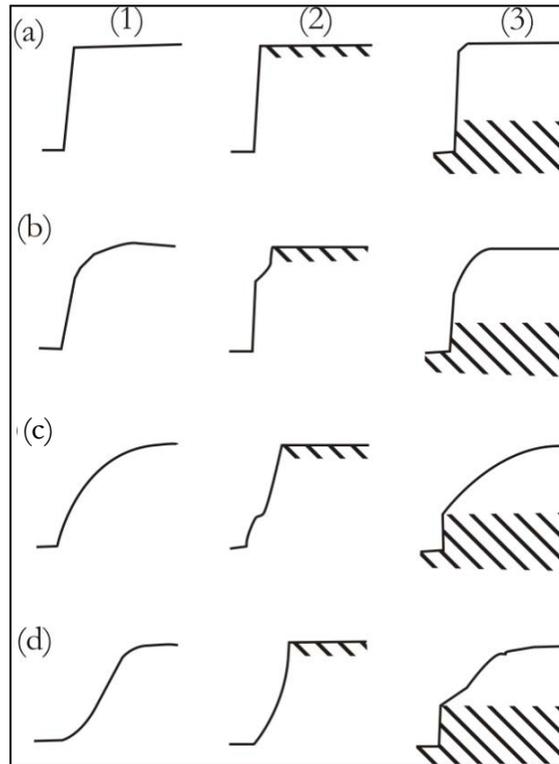


Fig. 1.4: Morfologias das arribas. (1) – coluna de rocha homogénea; (2) – coluna de rocha resistente no topo; (3) – coluna de rocha resistente na base; (a) a erosão marinha é muito maior que a meteorização; (b) a erosão marinha é maior que a meteorização; (c) a erosão marinha é igual à meteorização; (d) a erosão marinha é inferior à meteorização. (adaptado de Emery and Kuhn, 1982, *in* Schwartz, 2005).

De acordo com a figura anterior, as arribas em degrau desenvolvem-se quando o processo dominante é o subaéreo, em arribas com perfil convexo o processo marinho é o principal. Quando ambos os processos actuam na evolução da morfologia da arriba verifica-se que a parte cimeira apresenta-se convexa e a zona inferior em degrau. Para além destes dois processos, o factor geológico influencia a morfologia da arriba – material brando na zona cimeira da arriba favorece os processos subaéreos, enquanto a existência deste material na base da arriba favorece a acção das ondas.

Segundo Trenhaile (1997) o perfil das arribas é também influenciado pela estrutura, sequência estratigráfica e a atitude das camadas litológica. Por exemplo, em arribas em degrau a morfologia evolui principalmente quando a atitude das camadas é praticamente horizontal ou vertical (Trenhaile, 1997).

## CAPÍTULO II

### ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO – FOZ DO LIZANDRO - MALHADINHA

#### II.1 ENQUADRAMENTO GERAL E LOCALIZAÇÃO

A área de estudo foi escolhida tendo em conta o projecto desenvolvido pelo Centro de Estudos Geográficos (CEG) financiado pela FCT – BISHOP (Bioerosão e bioprotecção nas plataformas litorais do Algarve e Estremadura (Costa Sul e Ocidental de Portugal) – PTDC/CTE-GEX/70448/2006). O trabalho desenvolveu-se no litoral da Ericeira (Estremadura), mais propriamente a um quilómetro da vila, em Foz do Lizandro - Malhadinha (Fig. 2.1).

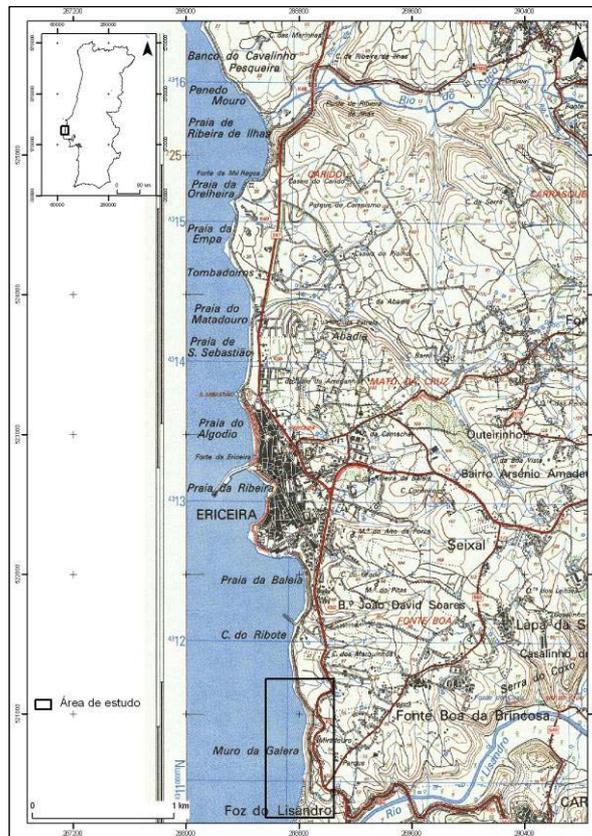


Fig. 2.1: Enquadramento da área de estudo. Extracto da Carta Militar 388. Fonte: Instituto Geográfico do Exército.

#### II.2 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

##### II.2.1 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

A área de estudo encontra-se enquadrada na Orla Mesocenozóica Ocidental, com rochas que se formaram com a abertura do Oceano Atlântico (Kullberg e Machado, 2005; Ramos-Pereira *et al.*, 2005; Ramalho *et al.*, 1993). Os sedimentos tiveram origem no Maciço Antigo, que se situa a E, e numa antiga cordilheira da qual a única evidência é as Berlengas. A Bacia Lusitana, caracterizada por ser uma bacia distensiva, na qual estas rochas estão inseridas, estende-se por cerca de 200 km de comprimento e 39 a 50 km de largura ao longo da faixa costeira W de Portugal

Continental. A sua formação está associada às primeiras fases da abertura do oceano atlântico, desenvolvendo-se ao longo da margem ocidental ibérica, em regime distensivo (d direcção E-W). A margem oeste é composta por uma falha que limita o *horst* das Berlengas e a Este a falha Porto-Tomar. Falhas com direcção ENE-WSW delimitam sectores com características estruturais e sedimentares distintas (Fig. 2.2) (Kullberg e Machado, 2005; Kullberg *et al.*, 2006).

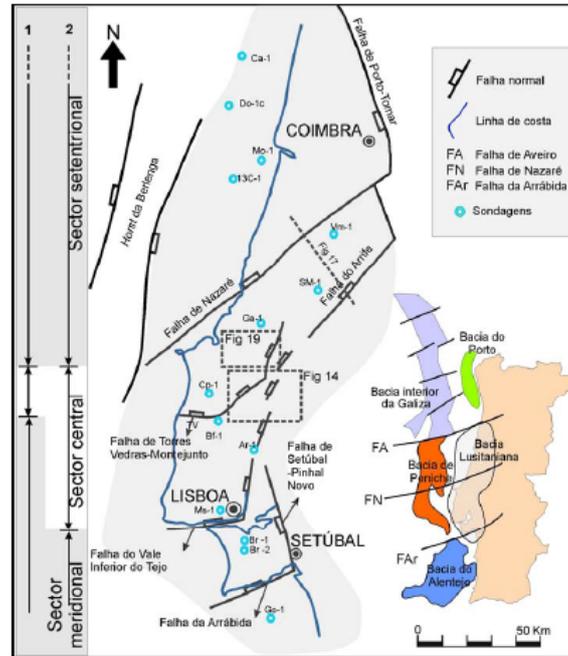


Fig. 2.2: Enquadramento geográfico e tectónico da Bacia Lusitaniana e de outras bacias da Margem Ocidental Ibérica. Adaptado de Kullberg, *et al.* (2006).

O preenchimento da Bacia Lusitaniana prolongou-se durante o Cenozóico e durante a formação sucederam-se vários episódios de subsidência e de levantamento, originando alternância de períodos de regressão e de transgressão marinhas (Azevêdo, 2001). Durante o Jurássico Inferior e Jurássico Médio, as evidências de fácies carbonatadas permitem determinar que a Bacia evoluiu em *half-graben*. No Jurássico Superior, no Kimeridgiano, depositou-se a Formação de Montejunto e deu-se a posterior deposição de unidades siliciclásticas indicando a reactivação do soco hércínico, modificando a morfologia da bacia para uma geometria simétrica (*graben*). No Cretácico Inferior a Bacia sofre um novo episódio distensivo provocando um confinamento. Neste período, o nível médio das águas do mar estaria cerca de 50m abaixo, relativamente ao actual, provocando consequentemente um aumento de erosão e de encaixe dos sistemas fluviais nesta área da plataforma continental (Kullberg e Machado, 2005).

Durante o Mesozóico ocorreram processos geodinâmicos de grande importância: primeiro deu-se a ocorrência do Complexo de Diques Radiais de Mafra (rochas básicas); do Maciço Eruptivo de Sintra, com predominância de granitos, sienitos e gabros, com um conjunto filoniano periférico, e por último sucedeu-se o Complexo Vulcânico de Lisboa (composto por basaltos em escoadas).

Sendo o Maciço de Sintra o que apresenta maior interesse para a área de estudo, é necessário perceber a tectónica que está associada a esta intrusão assim como a sua litologia. O maciço é composto por duas fases de arrefecimento: uma fase de formação granítica cuja idade ronda os 82M.a. e envolve a outra fase de intrusão com 75-78M.a., constituída por gabros, dioritos, sienitos e brechas intrusivas.

Com a intrusão do maciço ocorreram três tipos de deformações: formação de brechas intrusivas; deformação dúctil no encaixante e deformação frágil no encaixante (Kullberg *et al.*, 2006; Ramalho *et al.*, 1993). A deformação do encaixante permitiu a origem de um doma dissimétrico, que a N se apresenta invertido devido a uma compressão regional N-S e um desligamento direito ao longo de um acidente tectónico NW-SE.

O maciço de Sintra provocou o metamorfismo metassomático nos calcários do Oxfardiano que estavam em contacto com o mesmo, assim como no contacto dos Xistos do Ramalhão, ocorrendo alteração principal nas bancadas margosas (Ramalho *et al.*, 1993).

Este maciço esteve na base da formação de vários sistemas de falhas, frequentemente, preenchidas por material ígneo. Sendo as falhas radiais subverticais com orientação NNW-SSE as mais significativas.

A região da Ericeira, mais propriamente a Foz do Lizandro - Malhadinha, é constituída pelo substrato do Cretácico, influenciado por pequenas intrusões de filões de material dolerítico ou formado por rocha ígnea alterada. A N da praia está bem caracterizada a Formação de Rodízio, constituída por pelitos, arenitos e conglomerados, surgindo, superiormente, a Formação de Caneças (Calcários e arenitos). Sobre esta formação, ocorreu, já no Quaternário, a deposição de areias e cascalheiras de génese indiferenciada. A praia Foz do Lizandro é constituída por areias deste mesmo período.

Para o interior de Foz do Lizandro - Malhadinha é possível encontrar novamente os afloramentos da Formação Rodízio, a Formação de Cresmina (calcários e margas), a Formação de Regatão (arenitos, pelitos e dolomitos), as Formações de Ribamar e de Ribeira de Ilhas constituídas por calcários, arenitos e pelitos. Por fim é possível encontrar material do Quaternário derivado da rede hidrográfica presente – aluviões.

Na área da praia Foz do Lizandro - Malhadinha, identificam-se dois sistemas de falhas principais: um sistema com direcção NNE-SSW, que corresponde à direcção predominante dos acidentes diapíricos da região e é coincidente ou paralelo com a linha de costa; e outro com direcção NNW-SSE, tratando-se de acidentes mais profundos ligados à instalação de material ígneo (Zbyszemski *et al.*, 1955) (Fig. 2.3.)

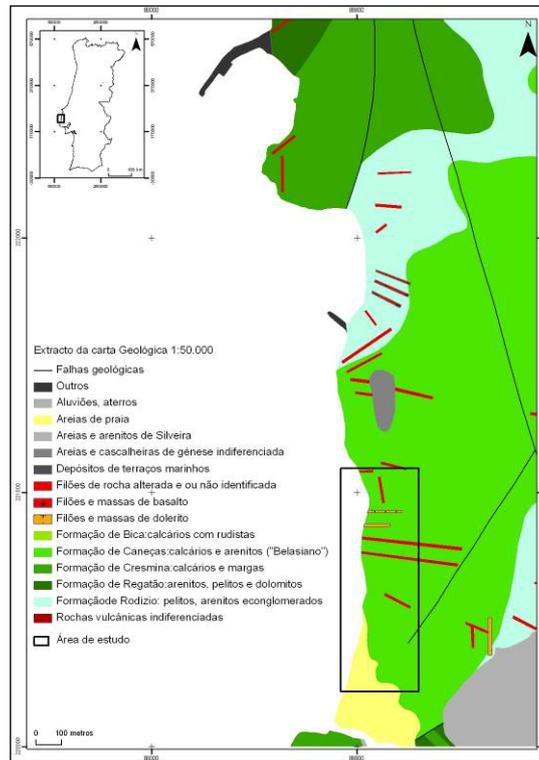


Fig. 2.3: Enquadramento geológico da área de estudo. Adaptado da Carta Geológica 1:50000.

Segundo Badagola *et al.* (2006), a plataforma continental da Estremadura, estando limitada a N pelo *gonf* da Nazaré e a S por um abarrancamento do bordo e vertente continental superior, apresenta características que evidenciam a actividade neotectónica e a reorganização da rede hidrográfica quanto esta esteve emersa no Quaternário. O limite externo da plataforma atinge profundidades superiores a 100 metros conferindo-lhe uma largura de 70 km (Fig. 2.4).

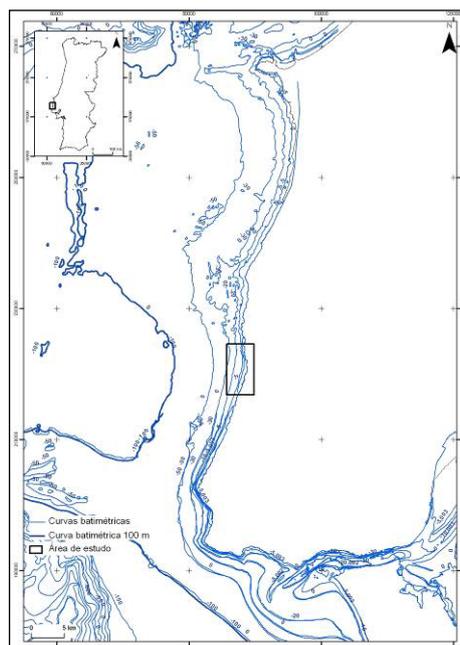


Fig. 2.4: Batimetria da plataforma continental da Estremadura. Fonte: Inst. Geográfico do Exército.

A plataforma interna inicia-se na linha de costa actual até às batimétricas dos 50 m/90 m e caracteriza-se pelas acumulações de areias de praia alternadas pela presença de zonas rochosas submersas. A plataforma média define-se até à batimétrica dos 140 m, com uma morfologia de origem estrutural. Por sua vez, a plataforma externa é subdividida em dois domínios morfológicos distintos de acordo com o Vale da Ericeira. (Badagola *et al.* (2006)). A N do Vale, a plataforma tem uma extensão maior alcançando 390 m de profundidade com um pendor suave, por outro lado, a sul do Vale a plataforma é mais acidentada com comandos variáveis.

## II.2.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

Para avaliar as características climáticas da área de estudo, foram considerados os dados das Normais Climatológicas de 1951-1980 de duas Estações Climatológicas – Cabo da Roca e Cabo do Carvoeiro, distanciando-se cada uma da área de estudo 21 km e 45 km, respectivamente. A estação de Cabo da Roca, situa-se a Sul da área de estudo, junto ao litoral na Serra de Sintra numa altitude de 142 metros, enquanto o Cabo do Carvoeiro localiza-se no litoral junto a Peniche, a Norte de Foz do Lizandro - Malhadinha (Fig. 2.5), com uma altitude de 32 metros.

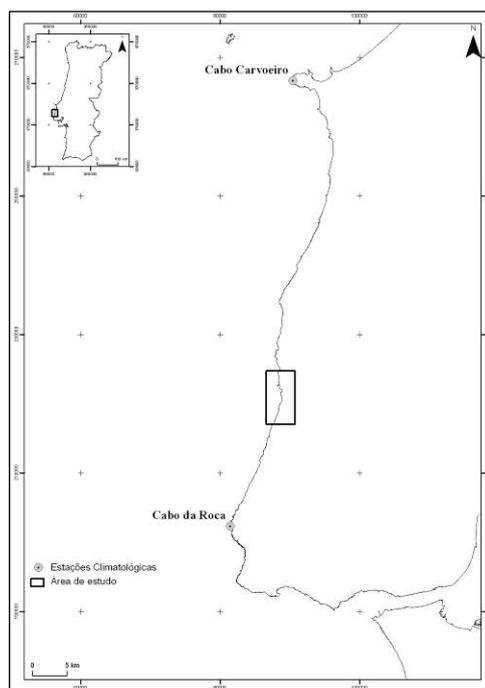


Fig. 2.5: Localização das Estações Climatológicas.  
Fonte: Instituto Geográfico do Exército.

## VENTO

Sendo o vento, um dos factores fundamentais para a geração da ondulação, promotor indirecto da erosão dos litorais, é também importante nas correntes superficiais junto ao litoral, permitindo o transporte de sedimentos finos. É também fundamental no transporte das partículas de água salgadas – salsugem – para o interior.

Importa pois conhecer e compreender os parâmetros envolvidos na caracterização do vento (velocidade e rumo).

Na estação do Cabo da Roca, o vento mais frequente tem rumos N e NW, com um total de 54,6% das observações anuais (Fig. 2.6 e 2.7). O vento, com rumo N, é mais frequente nos meses de Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro – designado por nortada. O rumo NW mais intenso nos meses de Fevereiro a Junho (Fig. 2.8a) e b)). No mês de Julho, 82,1% das observações correspondem ao rumo N e NW.

Para confirmar este facto, foi feita uma análise dos rumos de vento ao longo das estações do ano, permitindo observar que os rumos de N e NW só não apresentam um predomínio claro no Inverno (Fig. 2.8).

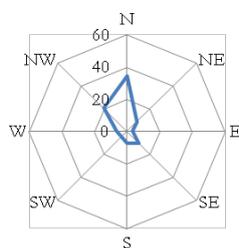


Fig. 2.6: Percentagem de observações anuais dos vários rumos de vento na Est. Clim. do Cabo da Roca. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.

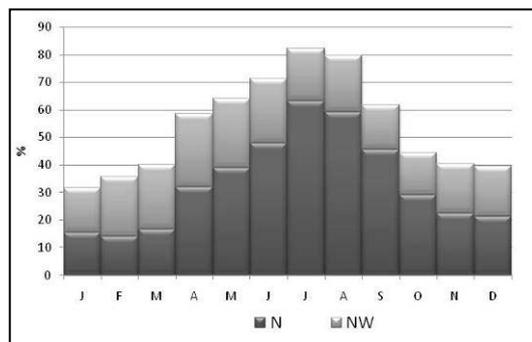


Fig. 2.7: Percentagem de observações mensais dos rumos do vento N+NW, na Est. Clim. do Cabo da Roca. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.

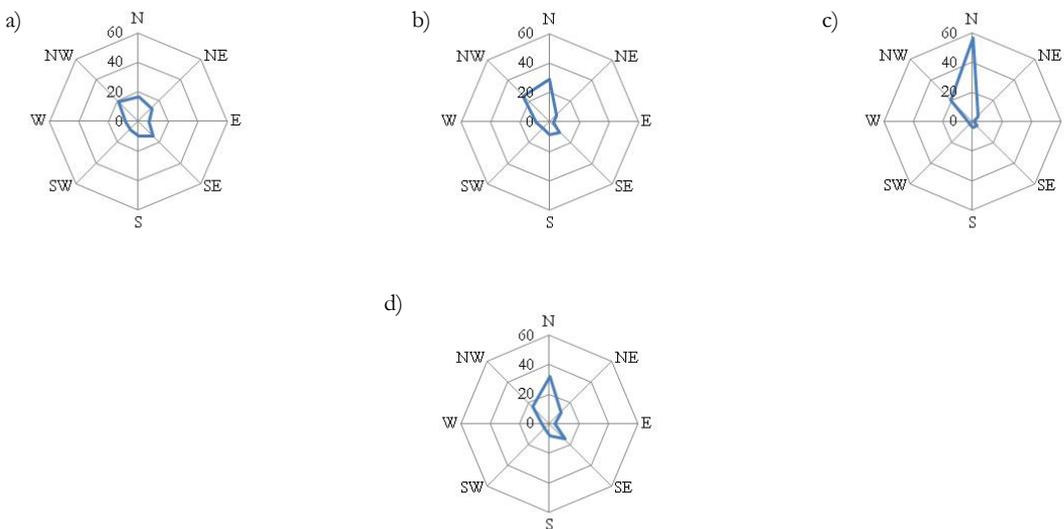


Fig.2.8: Percentagem de observações dos vários rumos de vento na Estação Climatológica do Cabo da Roca, a) no Inverno; b) na Primavera; c) no Verão e d) no Outono. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.

O vento apresenta uma velocidade média anual de 14,1km/h, sendo de 14,7km/h no Inverno e 11,6km/h no Verão. Neste período a maior intensidade de ventos provêm de N (Fig. 2.9). Este rumo e o NW são os que apresentam velocidades médias anuais superiores, com 14,3km/h e 14,8km/h, respectivamente.

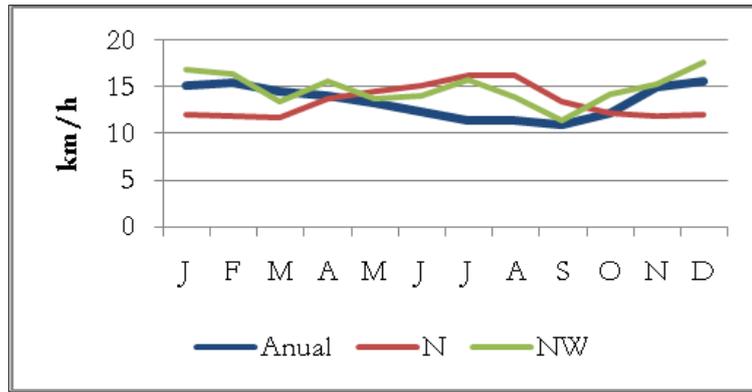


Fig. 2.9: Velocidade média do vento (km/h) ao longo do ano, na Est. Clim. do Cabo da Roca: todos os rumos (Linha Anual), rumos N (linha N) e NW (linha NW). Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.

Na estação de Cabo Carvoeiro, o vento predominante tem rumo N, com uma observação anual de 35,3% e velocidade média de 19,4km/h, sendo nos meses de Verão o período com maior intensidade, com uma observação de 57,4% – a nortada (Fig. 2.13 e 2.14).

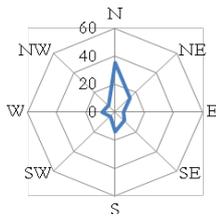


Fig. 2.10: Percentagem de observações anuais dos vários rumos de vento na Est. Clim. do Cabo Carvoeiro. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.

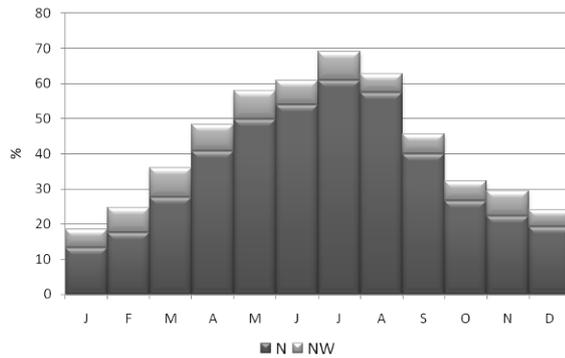
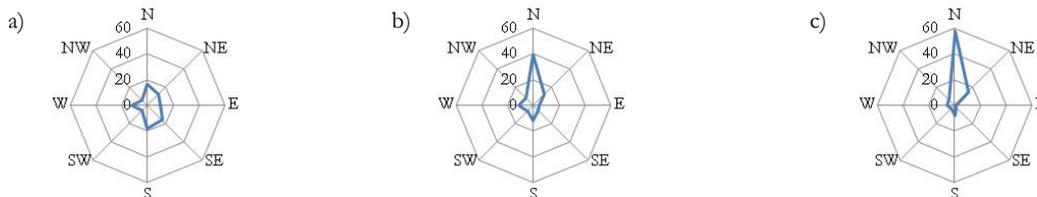


Fig. 2.11: Percentagem de observações anuais dos rumos do vento N+NW, na Est. Clim. do Cabo Carvoeiro. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.

A análise dos rumos de vento ao longo das estações do ano, permitiu verificar a predominância do vento N nas estações do Verão, Outono e Primavera, enquanto no Inverno há maior dispersão de rumos.

Observa-se que na Primavera e Outono a distribuição dos rumos de vento é muito semelhante, tendo maior intensidade o rumo de N-NE (Fig. 2.12).



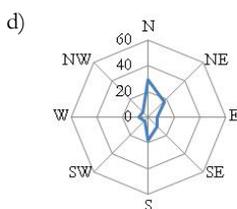


Fig. 2.12: Percentagem de observações dos vários rumos de vento na Estação Climatológica do Cabo Carvoeiro, a) no Inverno, b) na Primavera, c) no Verão e d) no Outono. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.

O vento nesta estação pode atingir uma velocidade média anual de 16,7km/h, sendo de 18,6km/h no Inverno e 12,9km/h no Verão. O vento N pode atingir uma velocidade média anual e 22,1km/h, no Inverno e 18,5km/h no Verão. Por outro lado, o rumo NW pode alcançar os 22,9km/h no Inverno, com apenas 10,1km/h no Verão (Fig. 2.13).



Fig. 2.13 Velocidade média do vento (km/h) ao longo do ano, na Est. Clim. do Cabo Carvoeiro: todos os rumos (Linha Anual), rumos N (linha N) e NW (linha NW). Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.

Com esta análise pode concluir-se que as duas Estações – Cabo da Roca, a Sul da área de estudo, e Cabo do Carvoeiro, a Norte, – apresentam características aproximadamente semelhantes e, como tal, podem ser extrapoladas para a área.

### NEVOEIRO

O nevoeiro é definido como a suspensão de pequenas gotículas de água na atmosfera, que geralmente reduzem a menos de um quilómetro a visibilidade horizontal à superfície do Globo (Mata Reis e Zorro Gonçalves, 1981). Na faixa costeira portuguesa, o nevoeiro é mais frequente nos períodos de Verão, permitindo aumentar a humidade na camada superficial do solo (Mata Reis e Zorro Gonçalves, 1981). Ao dificultar a mobilização dos elementos finos e ao promover a meteorização pelo sal, através do transporte de partículas de sal, influencia a dinâmica do litoral.

Das Normas Climatológicas verificou-se que há uma média anual de 32 dias de nevoeiro para o Cabo da Roca e 66,8 dias para o Cabo Carvoeiro. Observa-se uma tendência superior para a ocorrência de nevoeiro nos meses de Junho a Setembro (Fig. 2.14).

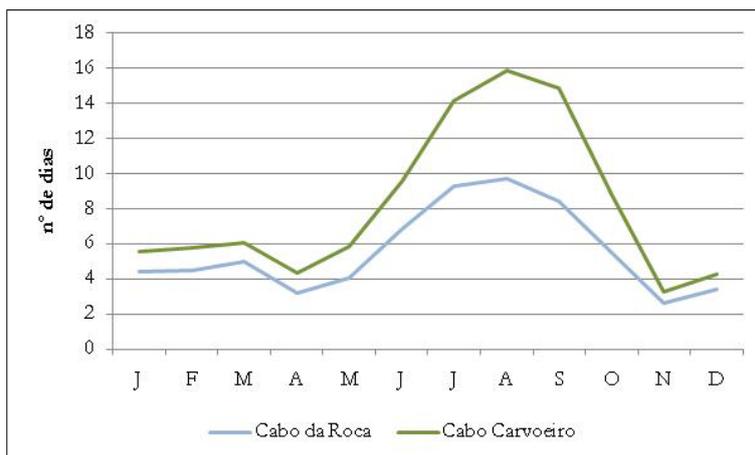


Fig. 2.14: Número médio mensal de dias com nevoeiro nas Estações climatológicas do Cabo da Roca e do Cabo Carvoeiro. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.

### TEMPERATURA

É importante salientar que as temperaturas têm grande influência na dinâmica actual do litoral, quer por influenciar os processos biológicos, quer por determinar a meteorização. As temperaturas elevadas contribuem para a evaporação da água e consequentemente a cristalização do sal, a contracção e a fragmentação do material mais brando. A temperatura vai contribuir para o processo de hidratação-dessecação que afecta as partículas de argilas originando assim a fragmentação por expansão-contracção.

Também o zonamento biológico está intimamente dependente das temperaturas das águas, da exposição solar, e dos ciclos imerso-emerso e consequente das temperaturas atmosféricas (Chapman, 1946; Laborel & Laborel-Deguen, 1995; Spencer & Viles, 2000).

Ambas as situações climatológicas, das estações consideradas, apresentam uma dispersão semelhante, quer a nível das temperaturas mensais médias, quer nas temperaturas máximas e mínimas médias (fig. 2.15, Quadro 2.1).

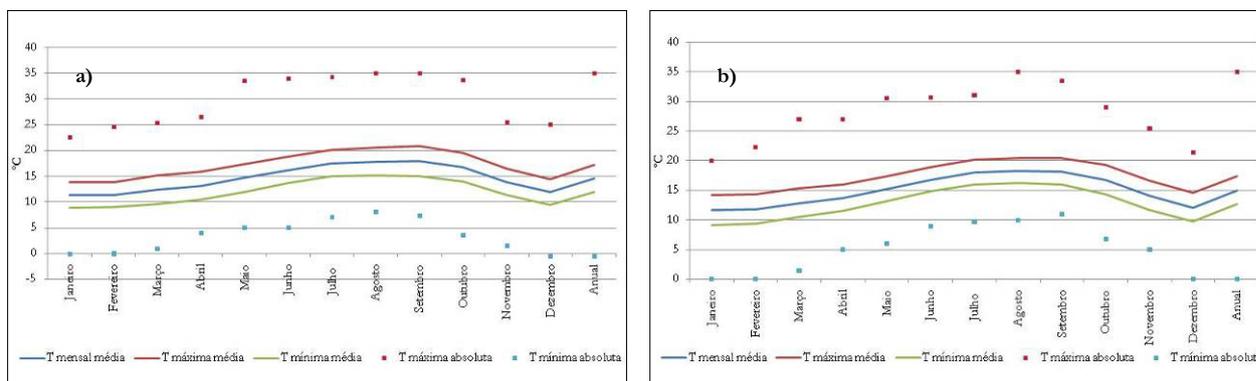


Fig. 2.15: Temperaturas mensais médias, máximas médias, mínimas médias, máximas absolutas e mínimas absolutas no período de 1951-1980 nas Estações Climatológicas do (a) Cabo da Roca e do (b) Cabo Carvoeiro. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.

Quadro 2.1: Análise estatística das temperaturas anuais para o Cabo da Roca e para o Cabo Carvoeiro.

Temperatura	Cabo da Roca	Cabo Carvoeiro
Média Anual, °C	14,6	15
Máxima média anual, °C	17,2	17,3
Mínima média anual, °C	12	12,7
Amplitude média anual, °C	5,2	4,6

A temperatura mensal média para o Cabo da Roca é de 14,6°C e para o Cabo Carvoeiro é de 15°C, com uma amplitude média anual térmica de 5,2° e 4,6°, respectivamente (Quadro 2.1). A amplitude térmica anual é muito pequena nas duas Estações (5,2° e 4,6° para a Est. do Cabo da Roca e Cabo Carvoeiro, respectivamente). Como ambas se localizam junto ao litoral estes valores eram expectáveis, pois são influenciados por fluxos de ar marítimos, com as temperaturas máximas dos meses mais quentes (Verão) menos elevadas devido à ocorrência de nevoeiro.

As temperaturas máximas ocorreram no mês de Agosto, em ambas as estações, tendo sido registado o valor máximo de 35°C. O mínimo atingido neste período de 1951-1980, foi de 0°C nos meses de Inverno para a Estação do Cabo Carvoeiro e -0,5°C para os meses de Novembro e Dezembro na Estação do Cabo da Roca.

### **PRECIPITAÇÃO**

A precipitação é fundamental na evolução das arribas. As arribas encontram-se na base dos processos hídricos, fornecendo água para o escoamento superficial e sub-superficial e condicionam os movimentos de massa (desabamentos e deslizamentos). A precipitação favorece a hidratação do material argiloso e a colonização biológica.

Da análise às Estações Climatológicas obtiveram-se valores de precipitação anual de 519,1mm e 591,2mm, Cabo da Roca e Cabo Carvoeiro, respectivamente. As duas apresentam uma variação de precipitação ao longo do ano muito semelhante, verificando-se uma menor intensidade nos meses de Junho a Setembro e maior precipitação nos meses do Inverno.

Considerando que os meses Dezembro, Janeiro e Fevereiro correspondem aos meses de Inverno, e os meses de Junho, Julho e Agosto os meses de Verão, observa-se na Estação do Cabo da Roca uma precipitação média nos meses de Inverno de 67,23mm e 7,4mm no Verão. No Cabo Carvoeiro obtiveram-se valores de 83,6mm e 8,6mm, respectivamente (fig. 2.16).

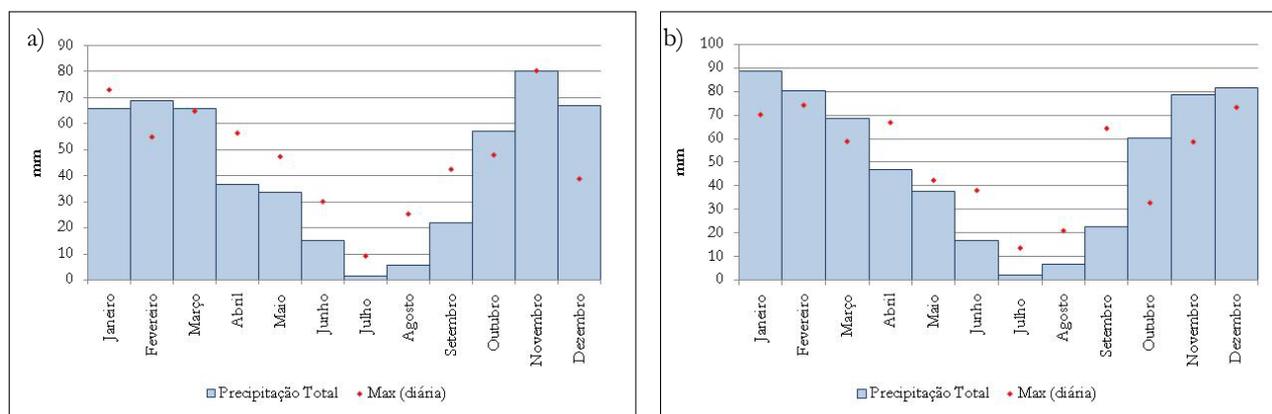


Fig. 2.16: Precipitações totais ao longo do ano, no período de 1951-1980 nas Estações Climatológicas do a) Cabo da Roca e b) Cabo do Carvoeiro. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.

### **HIDROLOGIA CONTINENTAL**

Grandes partes dos sedimentos que se encontram e se acumulam na faixa costeira são provenientes do transporte dos cursos de água que desaguam no litoral, sendo o escoamento superficial, o principal responsável (86%) pelo transporte de sedimentos do continente para o oceano (Dias, 2004).

Desta forma, torna-se importante a caracterização hidrológica da rede fluvial, para a compreensão da capacidade de abastecimento de sedimentos para o litoral. Para a área de estudo – Foz do Lizandro - Malhadinha – foram apenas incluídos os cursos de água num raio médio de 4 km para N e 6 km para S, considerando que o abastecimento local dos sedimentos é primordial. Os sedimentos provenientes de N são desviados para o Canhão da Nazaré e devido ao sentido da deriva litoral, os sedimentos provenientes de Sul não conseguem alcançar o N.

Numa escala 1:25.000, a envolvência da área de estudo acarreta 24 cursos de água drenando numa bacia com 29,308 km<sup>2</sup> de área (fig. 2.17).

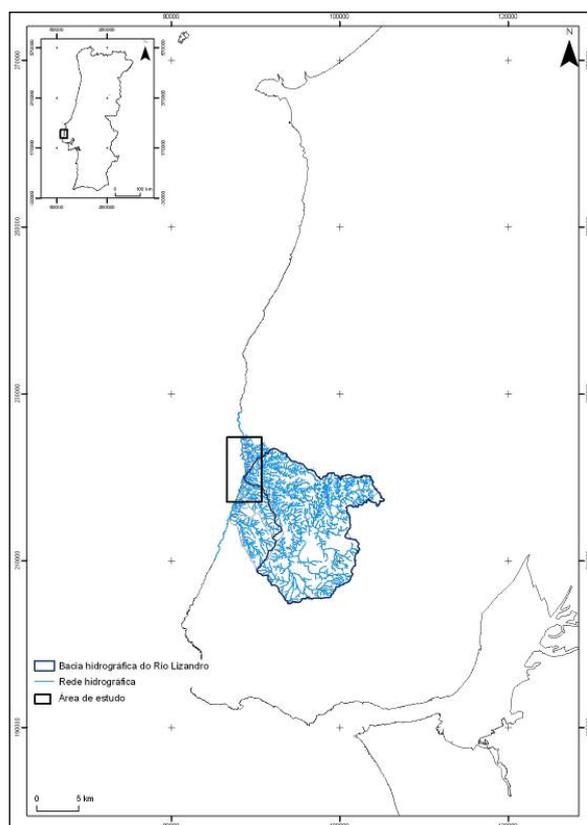


Fig. 2.17: Rede hidrográfica envolvente à área de estudo.  
Fonte: Instituto Geográfico do Exército.

O curso de água mais extenso, corresponde ao Rio Lizandro, que desagua na praia Foz do Lizandro - Malhadinha, com um comprimento principal de 30km e uma bacia de, aproximadamente, 166km<sup>2</sup>. O local exacto da foz é difícil de determinar. A foz do rio, ao longo do tempo, foi mudando de posição bem como, o contacto directo das águas fluviais com a água do mar é variável consoante a época do ano, o caudal do rio e as condições de agitação marítima (fig. 2.18).

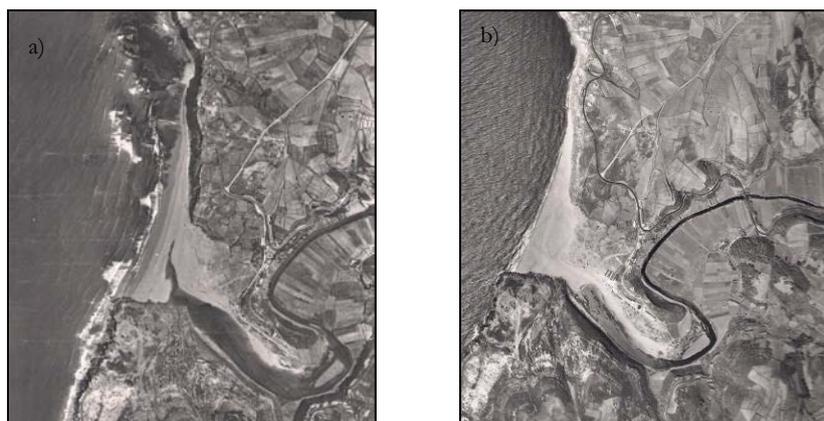


Fig. 2.18: Foz do Rio Lizandro em (a) 1960 à escala 1:8.000 e (b) 1965 à escala 1:15000.  
Fonte Instituto Geográfico Português.

Em ocorrência de situações de precipitações intensas e concentradas, estes cursos de água reagem debitando elevada carga sólida. Devido à ausência de estações de monitorização, não é possível a quantificação e a caracterização do regime dos cursos de água.

### **HIDROLOGIA MARÍTIMA**

A evolução da dinâmica dos sistemas do litoral depende fortemente da dinâmica do mar. Esta pode ser entendida na análise de cinco conjuntos de factores:

- a ondulação
- a deriva litoral
- o *upwelling*
- as marés
- *storm surge* – sobreelevação do nível do mar

#### **Ondulação**

A acção das ondas é um poderoso agente directo na dinâmica do litoral, quer pelo seu efeito erosivo na base das arribas (Kumar *et al.*, 2009; Stephenson & Kirk, 2000) quer pelo seu efeito de transporte de sedimentos e sua posterior acumulação. É também um agente indirecto quanto aos processos de meteorização indicados no capítulo anterior.

Na costa W de Portugal, existem duas bóias ondógrafos – Sines e Leixões – afastadas entre si, aproximadamente, 400 km. Os dados recolhidos por estas bóias, estão disponíveis via *internet*, excepto em situações de avarias das próprias bóias, normalmente em situações de agitação marítima intensa. Para esta dissertação foram aproveitados: os dados recolhidos para o projecto BISHOP (PTDC/CTE-GEX/70448/2006), entre o período de Março de 2008 e Agosto de 2009, os dados apresentados por Ramos-Pereira (1993), Costa (1994) e Neves (2004).

Segundo Pires (1989), a costa W portuguesa é dominada por ondulação de NW, em 80% dos dias do ano e com altura que compreende os 2-2,5m e período de 8-9s, sendo os meses de Fevereiro, Dezembro e Janeiro os que apresentam condições severas.

Entre 1986 e 1993 foram instaladas três estações permanentes em águas profundas – Figueira da Foz, Sines 1 e Faro (Costa, 1994) – tendo sido feita uma análise estatística dos dados correspondentes à costa W. Costa (1994) determinou médias mensais de altura significativa para a Figueira da Foz e para Sines de 1,1m e 2,6m, com um período médio de 5 e 9s, respectivamente. Evidenciou uma maior severidade dos estados do mar durante os meses de Inverno (com uma altura significativa superior a três metros), com uma direcção predominante de NW para Figueira da Foz e de W para Sines. Isto deve-se ao facto de os ventos dominantes na costa W terem proveniência principal de NW.

Apesar de não existir nenhuma bóia ondógrafa nas vizinhanças da área de estudo, foram considerados os dados provenientes da bóia de Sines. São estes, os que mais se aproximam das condições locais desta área

Nos 18 meses estudados, entre Março de 2008 e Agosto de 2009, verificou-se que a altura de onda significativa ronda o 1,9m com um período de 7,2s no Inverno e 1,3m, com 6s no Verão.

Foi nos meses do Inverno que se obtiveram alturas significativas de onda superior a 5m, correspondendo a 1,3% das observações e 12,3% para alturas superiores a 3m (fig. 2.19 e 2.20).

Observou-se neste período de análise que a direcção média da ondulação teve um rumo NW-WNW, com 93,3% das observações. No Inverno a direcção média foi de NW, em 66,3% das observações e no Verão a direcção média foi a mesma com 65,8% das observações.

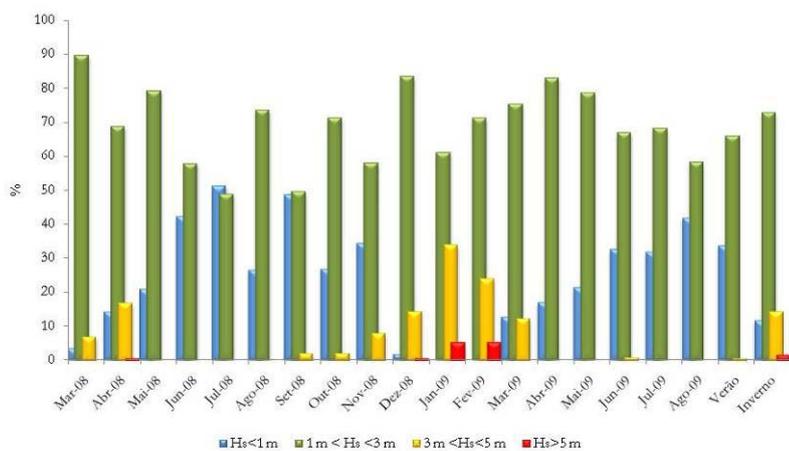


Fig. 2.19: Agitação marítima registada na bóia ondógrafa de Sines para o período de Março de 2008 a Agosto de 2009. Fonte: Instituto Hidrográfico.

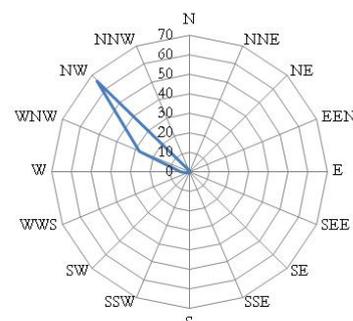


Fig. 2.20: Direcção da ondulação registada na bóia ondógrafa de Sines, para o período de Março de 2008 a Agosto de 2009. Fonte: Instituto Hidrográfico.

### Deriva litoral

A aproximação oblíqua da ondulação gera uma corrente paralela à linha de costa – a deriva litoral. Segundo Ramos-Pereira (2008), a refração a que uma onda está sujeita por percorrer colunas de água de diferentes espessuras, à medida que se aproxima da linha de costa, permite que se forme uma corrente ao longo do litoral. Esta possui enorme capacidade de transporte de sedimentos ao longo da linha de costa (Araújo, 2000).

Durante episódios de calma, o declive e a altura das ondas diminuem, assim como a energia envolvida. Deste modo a quantidade de areia que é transportada pelo mecanismo da corrente de deriva litoral é reduzida, contrastando com os episódios de alta energia em que a quantidade de material transportado é maior.

A deriva litoral compreende o volume de sedimentos que é transportado ao longo da linha de costa, por unidade de tempo, pela corrente de deriva litoral. Normalmente é medida em  $m^3/ano$ . Ou seja, a velocidade da deriva litoral é proporcional à velocidade das ondas na rebentação e ao ângulo da direcção da propagação das ondas.

A deriva litoral opera junto à linha de costa resultante do regime de agitação marítima, depende da obliquidade das ondas, e funciona em regime aberto. A deriva litoral tem uma componente de N para S ao longo da costa W de Portugal, resultante da direcção principal da ondulação – N e NW. Porém quando a ondulação provém de SW a deriva inverte-se e passa de S para N (Araújo, 2000). Na costa S portuguesa a deriva litoral faz-se predominantemente de W para E (Ramos-Pereira *et al.*, 2006). Estudos levados a cabo por Ferreira *et al.* (1994), com base nos

trabalhos de Oliveira *et al.* (1982) e de Taborda (1993) indicam um transporte de sedimento médio de  $2000 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$  na costa W Portuguesa.

### ***Upwelling***

Para além da deriva litoral, existem outras correntes que marcam movimentos de massa de água junto à faixa costeira. Em condições atmosféricas específicas podem ocorrer movimentos verticais ascendentes na temperatura da água superficial do mar – *upwelling*. Trata-se de um processo interactivo entre o oceano e a atmosfera com elevados impactos no clima local (Ferreira e Miranda, 2005).

Em Portugal, em especial a costa W, o *upwelling* ocorre principalmente nos meses de Verão (Julho, Agosto e Setembro), com rumos de vento do quadrante norte – N e NW. Em consequência, ocorre uma deslocação das águas superficiais para o largo, originando a ascensão de águas frias profundas junto à costa.

As diferentes amplitudes térmicas entre a superfície do continente quente e a superfície oceânica fria permitem a formação de uma brisa, que conforme a força de Coriolis, apresenta-se com uma direcção final paralela à linha de costa, contribuindo para o *upwelling*. No Verão, com a presença de águas superficiais frias nos períodos da manhã com vento reduzido, há um favorecimento da condensação de vapor de água e conseqüentemente a formação de nevoeiros (Neves, 2004).

### **Marés**

As marés (variação periódica do nível do mar) são originadas pela interacção das forças de atracção gravitacional entre a Terra, a Lua e o Sol, e por forças centrífugas geradas por movimentos de rotação à volta do centro de massa do sistema sol-terra-lua (Brown *et al.*, 1999; Schwartz, 2005).

A determinação da amplitude e período das marés é feita através da medição de oscilações registadas num marégrafo durante um período mínimo de um ano permitindo através de cálculos matemáticos, prever para cada local, a altura da água do mar e a hora.

O regime de marés que afecta a área de estudo, apresenta uma periodicidade semi-diurna, isto é, a existência de dois ciclos de preia-mar/baixa-mar num dia, com uma amplitude de cerca de três metros em situações de marés-vivas (ocorre quando as forças geradoras das marés actuam na mesma direcção) e cerca de 1,3m em situações de marés-mortas (ocorre quando o sol e a lua estão em quadratura).

Também a amplitude de marés influencia a colonização biológica, ou seja, quanto maior a amplitude de maré maior será a zonação vertical biológica (Chapman, 1946).

### ***Storm surge***

O *storm surge* ou a sobrelevação do nível do mar corresponde à subida temporária do nível do mar resultante de condições meteorológicas anómalas – variações na pressão atmosférica e a acção de ventos fortes (onde depende da intensidade e do período), da ressonância de ondas de longo período e da acumulação de água junto a costa derivada de ondas de curto período (Taborda e Dias, 1992; Dias, 1993; Dias *et al.*, 1994; Lowe *et al.*, 2001; Woth *et al.*, 2006; Holt, 1999).

Se o *storm surge* atinge valores elevados de amplitude podem dar-se modificações determinantes na distribuição dos sedimentos da plataforma continental, e quando associada a grandes temporais e a períodos de marés vivas, pode provocar galgamentos oceânicos com inundações e recuo da linha de costa (Dias, 1993). Ou seja, o *storm surge* é um dos maiores perigos para as zonas costeiras (Sterte *et al.*, 2009; Lowe *et al.*, 2001; Weisse & Plüß, 2005).

Apesar do estudo sobre a sobrelevação do nível do mar em Portugal ser ainda muito reduzida, Taborda e Dias (1992) admitem que a amplitude do *storm surge* deve ser tomado em conta, pois estas ocorrências podem provocar elevados danos na faixa costeira.

### CAPÍTULO III

#### MÉTODOS DE ESTUDO

##### III.1 INTRODUÇÃO

O troço litoral que se pretende estudar, Foz do Lizandro - Malhadinha, encontra-se a 1km a Sul da vila da Ericeira, e o presente trabalho teve como objectivo de estudo a análise geomorfológica pormenorizada do local e conseqüentemente a sua evolução dinâmica.

Foz do Lizandro - Malhadinha é caracterizado por apresentar dois sistemas litorais – sistema praia-arriba, sistema plataforma rochosa de sopé-arriba – permitindo a adaptação de diversas metodologias, quer de campo quer, posteriormente, em gabinete e laboratório. Estas complementam-se entre si e permitem ser melhoradas durante todo o processo.

Inicialmente e ao longo de todo o estudo, foi feita uma pesquisa bibliográfica aprofundada sobre o tema a ser tratado.

Em Setembro de 2008 deu-se início ao trabalho de campo, tendo terminado em Novembro de 2009, com o intuito de analisar geomorfológicamente a área, realizando a identificação e a caracterização pormenorizada da morfologia e sua evolução.

Em laboratório foram realizados estudos das propriedades dos materiais constituintes do troço litoral, bem como a sua caracterização.

Em gabinete, para além das análises estatísticas, foram feitas rectificações de resultados de campo e foram aplicados modelos.

##### III.2 TRABALHO DE CAMPO

###### LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS

O troço litoral rochoso em estudo é uma área caracterizada por uma arriba com aproximadamente 52m de topo e com um comprimento absoluto de 800m. Devido ao detalhe pretendido, a cartografia de base detalhada era inexistente, tendo sido necessário um levantamento topográfico de pormenor detalhado e rigoroso.

A técnica utilizada para elaboração de uma cartografia detalhada relativa à área de estudo teve como base a metodologia de Dornbusch *et al.* (2005), Dornbusch *et al.* (2007), de Lange & Moon (2005), que assumiram a fiabilidade dos dados de posicionamento com GPS igual à do fabricante.

Através do projecto BISHOP (PTDC/CTE-GEX/70448/2006) foi feito um levantamento com a utilização de duas técnicas complementares (Trindade *et al.*, 2009; Gusmão *et al.*, 2009; Araújo e Gomes, 2009) envolvendo o uso de Estação Total (ET) Nikon DTM-522 e de duas unidades dGPS (*Differential Global Positioning System, Magellan Professional ProMark 3*).

As unidades dGPS possuem a capacidade de adquirir dados posicionais em modo estático ou cinemático (contínuo ou *stop&go*). O fabricante apresenta uma fiabilidade no posicionamento

horizontal de  $0,005\text{m}+1\text{ppm}$  em modo estático e de  $0,012\text{m}+2,5$  em modo cinemático. A fiabilidade do posicionamento vertical é anunciada como sendo de aproximadamente  $0,01\text{m}+2\text{ppm}$  em modo estático e de  $0,015, +2,5\text{ppm}$  em modo cinemático. A ET apresenta uma precisão angular de cerca de  $1''$  e fiabilidade posicional de  $4\text{mm}+2\text{ppm}$ , multiplicada pela distância de medição.

Na monitorização dos sistemas litorais, há a necessidade de uma avaliação rigorosa das técnicas empregues, de tal forma que se torna indispensável prever a adequabilidade das técnicas. Trindade, *et al.* (2009), que realizaram testes entre os dois equipamentos e compararam os resultados, obtiveram diferenças médias entre as leituras da ordem centimétrica ou menor. Os autores verificaram que os valores eram mais fiáveis m levantamentos cinemático *stop&go*, do que os obtidos através do levantamento cinemático contínuo. Verificaram igualmente que o tempo de permanência em cada ponto é essencial para definir, em condições de horizonte livre de obstáculos, um bom posicionamento.

Numa primeira abordagem foram feitas medições sucessivas, e de forma sistemática, de levantamentos de perfis transversais e longitudinais à linha de costa, durante as marés baixas vivas, recorrendo às unidades dGPS em levantamento cinemático com aquisição contínua de pontos em  $15''$  e aquisição em *stop&go* (fig. 3.1).



Fig. 3.1: Levantamentos de campo com auxílio de dGPS. 13 de Novembro de 2008.

Os dados levantados (em Setembro de 2008) com dGPS foram processados com recurso ao programa GNSS Solutions 3.00.07©, tendo as coordenadas sido inicialmente projectadas em Datum WGS84 e transformadas para o sistema métrico Hayford-Gauss Datum Lisboa. Durante o levantamento e no pós-processamento registou-se um baixo número de satélites e de PDOP nas proximidades da arriba. Como consequência, verificou-se uma diminuição da fiabilidade dos resultados com aproximação à base da arriba. Identificaram-se duas causas possíveis: 1- efeito de sombra – a arriba é uma barreira entre o dGPS e os satélites que se encontram no céu na metade escondida pela arriba; 2- erro por análise reflexa “*multipath error*” – a arriba favorece a reflexão dos sinais enviados pelos satélites introduzindo uma distorção do sinal final no dGPS (Trindade *et al.*, 2009; Gusmão *et al.*, 2009).

Para separar claramente os dados incorrectos, foi necessário definir um limite de fiabilidade na nuvem de pontos dGPS pós-processados. Este limite foi determinado pelo ajuste sucessivo de curvas de tendência dos erros altimétricos obtidos. Através da distribuição dos respectivos coeficientes de determinação (que estabelece a relação entre duas variáveis) foi possível identificar um ponto nos perfis a partir do qual são evidentes os efeitos de sombra e reflexão do sinal GPS.

O método de ajuste escolhido foi a regressão polinomial de ordem dois, mostrando um coeficiente de determinação mais elevado.

Foi estimada uma distância média face à arriba, limitando uma linha de fiabilidade, utilizada para a eliminação todos os dados posicionais adquiridos junto à base da arriba e substituídos por novos dados de posicionamento adquiridos pela ET (fig. 3.2), demarcando também o limite da base da arriba.

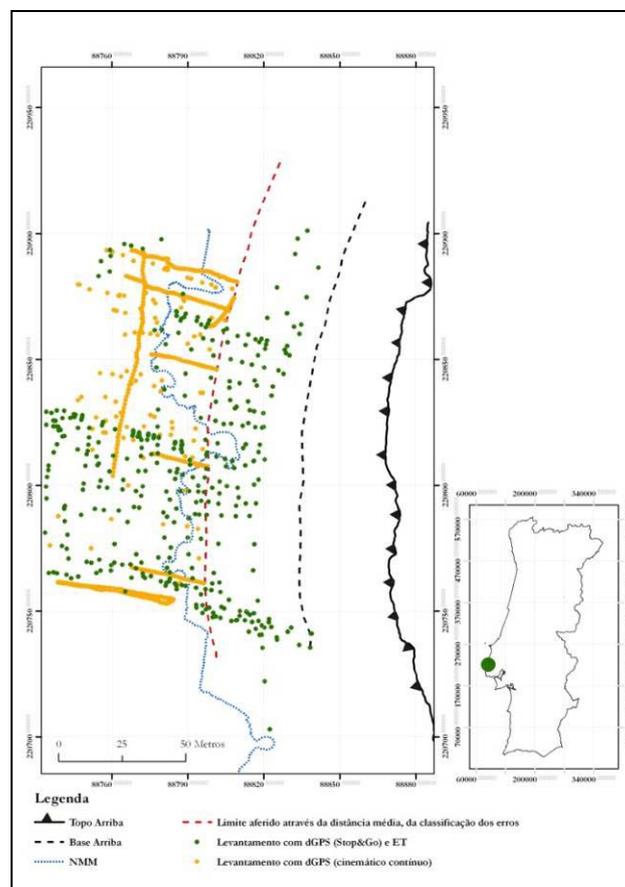


Fig. 3.2: Levantamentos de campo com auxílio de dGPS e ET. Definição do limite de fiabilidade.

Foram estes levantamentos que permitiram a base topográfica detalhada de referência quer para a continuidade deste estudo, quer para trabalhos futuros do projecto BISHOP (PTDC/CTE-GEX/70448/2006).

Ao longo do trabalho de campo observaram-se diferentes espessuras de acumulação de areias na plataforma rochosa de sopé. Para a monitorização do volume de areias utilizou-se a técnica descrita anteriormente para o levantamento da topografia e a técnica aplicada por Trindade,

*et al.* (2006). Ou seja, com a necessidade de se realizarem perfis topográficos exactamente no mesmo local, foram colocadas seis estacas de referência na arriba (duas estacas para cada perfil) transversais à linha de costa. Cada perfil distancia-se entre si, aproximadamente, 20m permitindo o levantamento frequente e preciso de três perfis transversais.

Com ajuda de uma unidade dGPS em aquisição estática foi possível determinar o local exacto das estacas de referência. Os levantamentos dos perfis foram obtidos por dGPS, em áreas sem limite de obstáculo, e por ET nas proximidades da arriba (fig. 3.3).



Fig. 3.3. Levantamento de praia transversais à linha de costa. 14 Janeiro de 2009.

#### LEVANTAMENTOS MORFOLÓGICOS

Ao longo do trabalho de campo foi possível o reconhecimento, a determinação e a identificação de orientações, declives da arriba e da plataforma rochosa de sopé assim como diferentes comandos da arriba. Caracterizou-se a acumulação de depósitos na base da arriba identificando a dimensão, a natureza, o grau de rolamento assim como a espessura/extensão dessa acumulação.

Para a caracterização morfométrica dos constituintes das acumulações em estudo foi feita uma amostragem visual tendo sido escolhidas em cada sistema, três conjuntos - os blocos maiores, menores e de dimensões intermédias. Em relação à arriba foi feita a análise para áreas que apresentavam morfologias distintas, com presença de nascentes, e em zonas de caracterização média do sector.

Para a realização desta inventariação utilizou-se o preenchimento de dois quadros durante o trabalho de campo (Quadro 3.1 e Quadro 3.2).

Quadro 3.1: Exemplo do quadro utilizado em campo para a inventariação dos depósitos acumulados na base da arriba.

Sector: I										
Depósito base da arriba										
Largura (m)	Grau de Rolamento	Dimensão dos blocos			Esfericidade	Ind.		Natureza	Tipologia	Observações
		DM (m)	Dm (m)	b (m)		Dissemetria	Declive			
11,955	Angulosos	1,36	0,67	0,52	0,67	0,49	13°	Calcário	Blocos e areia	Variação ao longo de toda a base
10,604		0,60	0,38	0,30	0,73	0,63	12°			
6,987		0,34	0,19	0,18	0,79	0,56				

Legenda:  
 DM (m) – eixo maior  
 Dm (m) – eixo intermédio  
 h (m) – eixo menor

Esfericidade =  $\sqrt[3]{(h^2 / (DM \cdot Dm))^*}$   
 Ind. Dissemetria =  $Dm / DM^*$   
 \* Fonte: Dias, 2004.

Quadro 3.2: Exemplo do quadro utilizado em campo para a inventariação da arriba em cada sistema

Sector: I								
Arriba								
Declive	b	Nascentes	Forma (esquema)	Exposição	Movimentos de massa	Fracturas	Litologia	Observações
35°	3			W	9	Sim	Intercalações de calcário e margas	
35°				W				
31°				W				

Legenda:  
 h (m) – altura

### CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

A caracterização geológica consistiu na identificação das unidades litológicas identificando a sua natureza, textura, tipo de cimento, a sua estrutura (presença de fracturas e discontinuidades), a atitude e espessura.

De acordo com as normas de ISRM (1978) e com o estudo de Naylor & Stephenson (2009), a caracterização das famílias de discontinuidades nas camadas teve como base a inventariação do azimute, do espaçamento, da extensão e persistência, assim como da abertura e do preenchimento (Barton & Choubey, 1977) (Quadro 3.3), que segundo Bromhead (1986) são factores que vão influenciar fortemente a estabilidade de uma massa rochosa.

Quadro 3.3: Exemplo do quadro utilizado em campo para a inventariação da família de discontinuidades.

Família descontinuidades	Id	Atitude	Espaçamento (m)	Extensão e persistência (m)	Abertura (cm)	Preenchimento	
						Material	Granulometria
F'	F'1	N22°	1,83	15	10	Areia	
	F'2	N19°	2,30	7,28	5	Em contacto	
F''	F''1	N73°	0,84	1,42	0,01	Em contacto	
	F''2	N89°	1,99	1,17	0,01	Em contacto	

Devido à difícil acessibilidade em algumas zonas, não foi possível identificar em pormenor todas as unidades litológicas aflorantes da área em estudo.

**IDENTIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS**

Identificaram-se localmente as características hidrológicas continentais através do escoamento superficial e sub-superficial de águas na face da arriba, indicando sempre que possível se se tratava de um escoamento perene ou intermitente.

**IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE EVOLUÇÃO NA ARRIBA**

Para a determinação da evolução da arriba da área de estudo foram caracterizados os movimentos de vertente, quantificando a sua dimensão, o volume de material deslocado, assim como a sua natureza.

Foi realizado um inventário pormenorizado de todas acumulações de material depositado na base da arriba, quantificando-se o declive, a largura máxima (H), o comprimento máximo (C) e a espessura máxima (L) (Quadro 3.4).

Quadro 3.4: Exemplo do quadro utilizado em campo para a inventariação dos movimentos de massa.

Sector: G					
Deslizamentos n <sup>o</sup>					
Declive (°)	Dimensões (m)			Nascentes	Litologia
	L	c	a		
33	11,30	3,50	14,25	1	Calcário, arenito e margas
33	8,94	5,50	16,25	1	Calcário, arenito e margas
26	5,72	3,20	8,65		Calcário, arenito e margas

A partir dos valores medidos no campo e assumindo que a acumulação do material teria uma forma geométrica semelhante à representada na fig. 3.4, foi possível determinar o volume de acumulação de massa a partir da área da base (triângulo) vezes a altura (comprimento máximo).

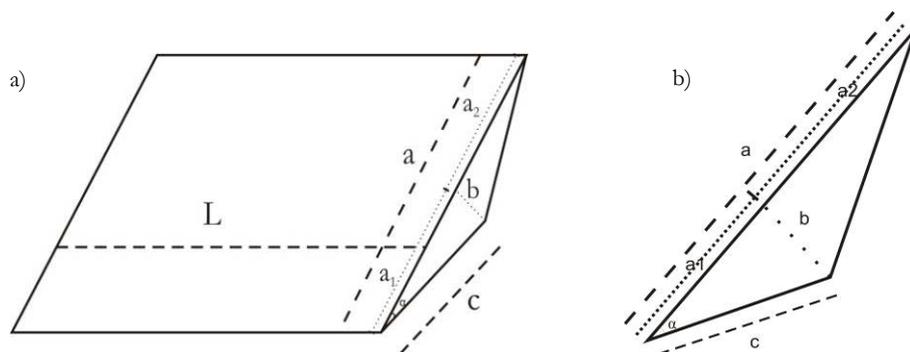


Fig. 3.4. a) Forma geométrica equivalente à forma da acumulação de material; b) detalhe da área triangular. L – comprimento; c – largura; a – hipotenusa; b – altura; a1 – cat. adj. do triângulo rectângulo 1; a2 – cat. adj. do triângulo rectângulo 2.

Para o cálculo da área da base foi necessário ter em conta o teorema de Pitágoras complementado pelas regras de trigonometria, ou seja, segundo o teorema em qualquer triângulo rectângulo, o quadrado da hipotenusa é igual à soma dos quadrados dos catetos do triângulo. De

acordo com a trigonometria, o co-seno de  $\alpha$  é igual à medida do cateto adjacente sobre a medida da hipotenusa do triângulo.

$$b = \sin \alpha c$$

$$a_1 = \cos \alpha c$$

Desta forma, para cada acumulação de material inventariado, foi preenchido um quadro com a seguinte estrutura (Quadro 3.5):

Quadro 3.5: Exemplo do quadro utilizado em gabinete para o cálculo das características dos movimentos de massa.

Sector: A										
Movimentos de massa nº 3										
$\alpha^\circ$	$c$ (m)	$a$ (m)	$b$ (m)	$a_1$ (m)	$a_2$ (m)	$A_{a1}$ (m <sup>2</sup> )	$A_{a2}$ (m <sup>2</sup> )	$AT$ (m <sup>2</sup> )	$L$ (m)	$V$ (m <sup>3</sup> )
41	1,2	4,2	0,79	0,91	3,29	0,36	1,3	1,65	1,16	1,92
41	2,3	10	1,51	1,74	8,26	1,31	6,23	7,54	5,6	42,25
35	3	9,3	1,72	2,46	6,84	2,11	5,89	8,00	5,8	46,41

Legenda:	$AT$ – área total
$\alpha$ é o ângulo	$L$ – comprimento
$c$ – largura	$V$ – volume
$a$ – hipotenusa	$A = \frac{(b + a_1)}{2} \cdot L$
$b$ – altura	$V = AT \cdot L$
$a_1$ – cat. adjac. do triângulo rectângulo 1	
$a_2$ – cat. adjac. do triângulo rectângulo 2	
$A_{a1}$ – área do triângulo 1	
$A_{a2}$ – área do triângulo 2	

Devido à difícil acessibilidade em algumas zonas, não foi possível identificar em pormenor todos os movimentos presentes na face da arriba, em especial os de menor dimensão.

### MONITORIZAÇÃO DA PLATAFORMA ROCHOSA DE SOPÉ

Para a medição da erosão em superfícies rochosas foi concebido, inicialmente por High e Hanna (1970) um equipamento que os autores designaram por *Micro-Erosion Meter* – MEM – para a medição da erosão em superfícies rochosas. Este equipamento consiste numa base triangular equilátera com uma perna cilíndrica em cada vértice. O comparador de medição foi fixado de forma descentrada e tinha uma resolução de 0,002mm. Na superfície rochosa foram instalados três pinos com topo esférico, tomando-se desta forma referências fixas para as medições sucessivas.

Robinson (1976) introduziu alterações na concepção do MEM permitindo a utilização em ambientes litorais e em particular em plataformas rochosas. Em 1981, Trudgil *et al.*, com base nas alterações dadas por Robinson (1976), desenvolveram um novo equipamento *Traversing Micro-Erosion Meter* – TMEM, que difere: na abertura da plataforma metálica; na independência do comparador relativamente à base metálica; na fixação deste a três braços cilíndricos que assentam em esferas fixas postas na base. Este equipamento permitia a leitura de 27 pontos no mesmo lugar.

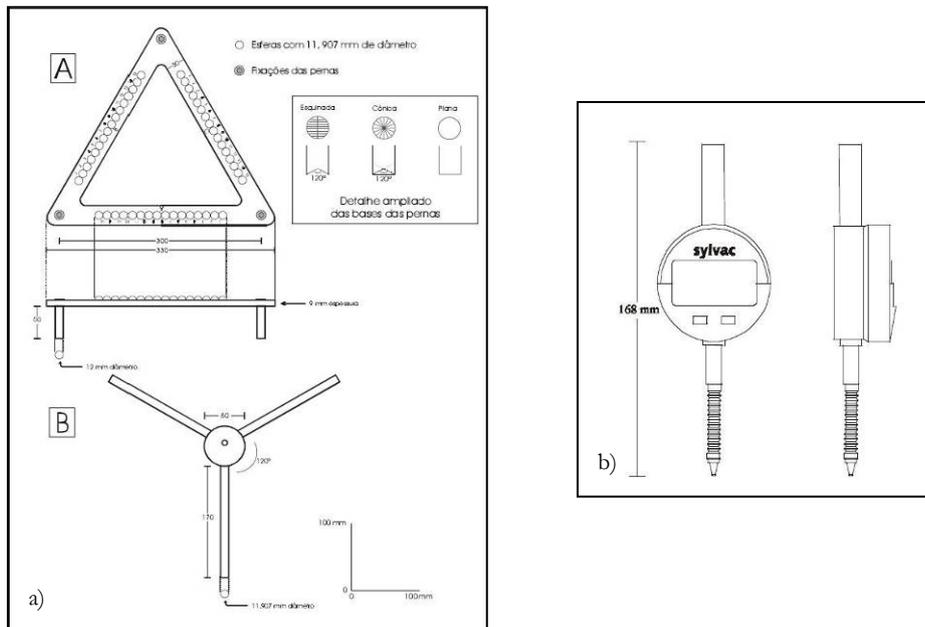
Stephenson (1997) modificou o tipo de comparador de forma a permitir a leitura das medições directamente num computador portátil (reduzindo desta forma o erro do operador), alterando também o número de leituras possíveis – 120 pontos de medição em cada local.

Neves *et al.* (2001), com o objectivo de estudar e medir o rebaixamento das plataformas rochosas de sopé do litoral português, desenvolveram um TMEM, com o sentido de melhorar a qualidade dos materiais envolvidos, diminuindo o erro, redimensionando o equipamento (aumentando o grau de confiança) e aumentando o número de pontos de medição em cada local – máximo de 255 pontos.

Este TMEM possui um comparador digital SYLVAC que mede valores de 0,000 a 25,000mm, com uma resolução de 0,001mm e uma margem de erro de 0,005mm (Neves *et al.*, 2001). Desta forma é possível avaliar de forma periódica e sistemática a posição topográfica dos 255 pontos numa área triangular de 116,7cm<sup>2</sup> (fig. 3.5).

De acordo com os objectivos estipulados pelo projecto BISHOP (PTDC/CTE-GEX/70448/2006) instalaram-se duas áreas de monitorização para medições com TMEM, desenvolvido por Neves *et al.* (2001), na faixa entre-marés inferior.

Ao longo do projecto, foram realizadas campanhas com uma regularidade periódica de 15 dias, com a eliminação dos seres vivos, das áreas de monitorização TMEM utilizadas neste estudo, através do peróxido de hidrogénio a 130vol<sup>1</sup>. Para o presente trabalho consideram-se as medições iniciais, que indicam a topografia de cada área, e as medições após 6 meses.



<sup>1</sup> Foi determinado em laboratório a influência do peróxido de hidrogénio no rebaixamento da plataforma, tendo sido determinado um valor de 0,2% de material perdido (projecto BISHOP - PTDC/CTE-GEX/70448/2006).



Fig. 3.5: a) Desenho detalhado do TMEM utilizado, A – plataforma metálica, B – suporte do comparador; b) comparador Sylvac; Adpatado de Neves, *et al.*, 2001. c) pormenor do TMEM utilizado em campo, fotografia de 22 de Julho de 2009.

A terminologia aplicada foi estipulada de acordo com a faixa entre-marés (Quadro 3.6 e fig. 3.6).

Quadro 3.6: Terminologia aplicada para as áreas de monitorização do TMEM.

ID		
Local	Malhadinha	Malhadinha
Perfil	M1	M1
Área de Medição	M1AM	M1BS

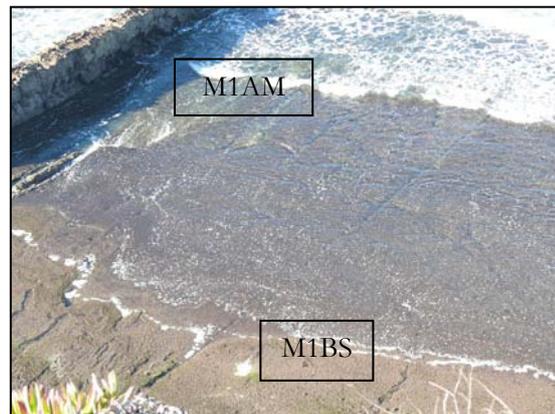


Fig. 3.6. Localização das áreas de medição.

### DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS ROCHAS COM O MARTELO DE SCHMIDT

O martelo de Schmidt foi desenvolvido em 1948 com o objectivo de realizar testes em betão e mais tarde foi adoptado na aplicação de estudos de geomorfologia e de geologia (Day & Goudie, 1977; Sunamura, 1992; Katz, *et al.*, 2000; Goudie, 2006; Yagiz, 2009; Naylor & Stephenson, 2009). Neste ensaio foi igualmente aplicado a estudos mais específicos ligados à investigação da resistência em plataformas rochosas de sopé para a determinação do grau de meteorização em ciclos imerso/submerso e em meteorização pelo sal (Stephenson & Kirk, 2000; Stephenson, 2000; Trenhaile, 2002; Ericson, 2004; Aydin & Basu, 2004).

Actualmente existem três versões distintas do martelo: o Tipo N aplicado em rochas de resistência baixa a muito elevada com uma resistência à compressão de 20 a 250 MPa; o Tipo L aplicado a rochas com uma resistência baixa e com uma camada fina de meteorização; e o Tipo P é usado para rochas de material de muito baixa resistência (Goudie, 2006).

Este martelo consiste num êmbolo de mola que é solto quando pressionado contra uma superfície rochosa. O ressalto vai transferir energia para o material rochoso, sendo tanto maior quanto maior a dureza do material. Ou seja, a energia retida representa a resistência da penetração do impacto (ou dureza) da superfície. Quanto mais resistente for a rocha, menor a perda de energia e por isso maior o ressalto (Aydin & Basu, 2005). A transferência de energia depende essencialmente das características das rochas (resistência da rocha, da irregularidade da superfície, da presença/ausência de descontinuidades e do conteúdo em água) e da orientação do martelo relativamente à superfície (Sunamura, 1992; Neves, 2004; Goudie, 2006; Blanco-Chao *et al.*, 2007).

O valor de resistência obtido pelo martelo de Schmidt – valor de ressalto,  $R$  – tem sido utilizado como um índice das propriedades mecânicas do material rochoso, que permite estimar a relação empírica entre índice de dureza e a resistência à compressão uniaxial (Aydin & Basu, 2005). Os testes obtidos pelo martelo de Schmidt não têm em conta as propriedades litológicas, como a densidade e a orientação da família de fracturas e descontinuidades (Thornton & Stephenson, 2006). Também a rugosidade da superfície não é considerada, sendo uma possível fonte de erros.

Os ensaios com o Martelo de Schmidt foram realizados *in situ*, com um martelo do tipo L, pois trata-se do martelo com maior sensibilidade às irregularidades da superfície, com uma elevada amplitude de valores de resistência à compressão, apresentando melhores resultados quando testado em rochas porosas, alteradas e de menor resistência. (Amaral *et al.*, 1999; Neves, 2004; Dickson, 2006; Aydin, *in press*).

Segundo Day & Goudie (1977) a utilização do Martelo de Schmidt em campo deve seguir os seguintes princípios:

- i. o local de ensaio não pode ser próximo de arestas do maciço rochoso ou nas proximidades de fracturas e descontinuidades;
- ii. as superfícies têm de ser planas e limpas
- iii. a repetição do teste na mesma posição, ou nas suas vizinhanças, vai resultar num aumento das leituras
- iv. o número de impactos feitos no local de ensaio deve ser entre 10 a 15
- v. o valor,  $R$ , modifica-se de acordo com a posição do instrumento
- vi. o teste não pode ser realizado em rochas fracamente consolidadas.

Considerando estes cinco princípios e que o material é heterogéneo, todos os valores de ressalto obtidos pelo martelo de Schmidt foram considerados. Tendo sido aplicado em cinco pontos diferentes, para cada unidade litológica, com 20 valores de ressalto (Amaral *et al.*, 1999; Aydin, *in press*). Os testes que causaram estragos visíveis na rocha não foram considerados (Katz *et al.*, 2000).

Aos valores de ressalto obtidos, caso fosse necessário, foi aplicado o ábaco de correcção da inclinação do aparelho, ábaco que possui também o cruzamento do valor de  $R$  com o peso

específico da rocha (determinado em laboratório), obtendo o valor final estimado de resistência à compressão uniaxial (ISRM, 1978; Sunamura, 1992; Marques, 1997; Neves, 2004) (fig. 3.7).

Segundo Kolek (1958, *in* Day & Goudie, 1977) e mais recentemente Sunamura (1992), os valores de resistência determinados através do Martelo de Schmidt apresentam uma fiabilidade próxima dos valores obtidos pelos ensaios geotécnicos de compressão.

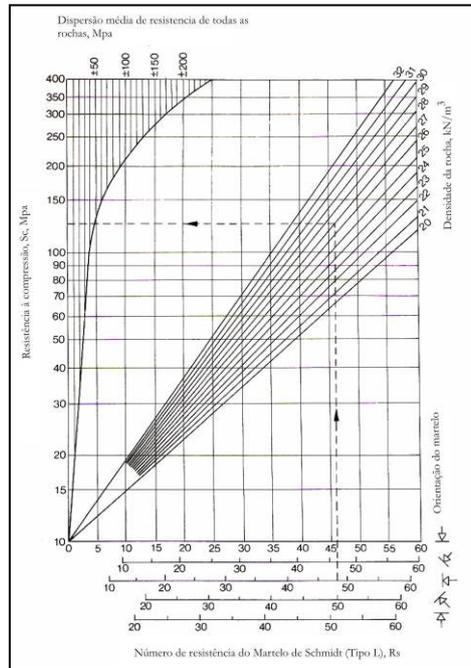


Fig. 3.7: Ábaco para estimar a resistência à compressão das rochas através do Martelo de Schmidt (Tipo L). (Hoek e Bray, 1981, *in* Sunamura, 1992).

### III. 3 TRABALHO DE LABORATÓRIO

A caracterização dos materiais teve como objectivo apoiar e complementar a análise de campo.

Foram realizados ensaios expeditos *in situ* e colhidas amostras para posterior tratamento laboratorial. A recolha de amostras foi feita em locais seleccionados, de acordo com a acessibilidade, a representação dos diversos tipos litológicos e a importância para a evolução da área em estudo.

As amostras de areia foram recolhidas, ao longo dos perfis, nas áreas de monitorização do volume de areias na plataforma, tendo sido amostrado aproximadamente 100g de areia para estudo de granulometria.

As amostras de rocha consistiram em blocos talhados na arriba ou em blocos de grandes dimensões provenientes de movimentos de vertente, aproximadamente paralelepípedicas, com tamanho adequado para a realização de provetes necessários para a realização de ensaios de resistência. A dimensão média foi da ordem dos 30cmx20cmx15cm e foram guardadas e transportadas em sacos de plástico. Para outro tipo de ensaios de resistência e para a análise das

propriedades índice das rochas foram recolhidas amostras com outro tipo de dimensões, inferiores às anteriores.

Para os ensaios de resistência foi necessário tratar as amostras recolhidas para a obtenção de provetes de acordo com as normas estipuladas pela ISRM (1978). Com ajuda de uma sonda rotativa de accionamento eléctrico, arrefecida por circulação de água, com um amostrador de parede simples com bordo cortante provido de inserções de pasta diamantada, com diâmetro inferior de 45mm foi possível a obtenção de provetes cilíndricos. Os topos destes foram cortados e regularizados com a ajuda de uma serra eléctrica, adequada para rochas, obtendo-se dois tipos de amostras com as faces do cilindro paralelas à sua base: cilindros com um comprimento maior que o dobro do seu diâmetro e cilindros com um comprimento inferior ao seu diâmetro – forma de “bolacha”.

Em laboratório e com ajuda de limas e de um serrote diamantado foram tratadas amostras para a obtenção de provetes paralelepípedicos com dimensões aproximadamente de 6cmx6cm.

Os ensaios sobre as propriedades índice das rochas foram realizados no laboratório do Centro de Estudos Geográficos, da Universidade de Lisboa; os ensaios de resistência foram realizados no laboratório de Geotecnia do Centro de Geologia da Universidade de Lisboa. Alguns dos ensaios apresentados provém do desenvolvimento do projecto BISHOP (Bioerosão e bioprotecção nas plataformas litorais do Algarve e Estremadura (costa sul e ocidental de Portugal) – PTDC/CTE-GEX/70448/2006.

### **ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO**

Os ensaios efectuados foram os seguintes: propriedades índice das rochas; teor em carbonatos em rochas calcárias, rochas argilosas e rochas areníticas; análise granulométrica em amostras de areia e em rochas argilosas, areníticas e calcárias.

### **Propriedades Índice**

Com o objectivo de determinar o peso específico aparente seco das amostras seguiu-se a metodologia já tratada, entre outros, por Marques (1997) e Neves (2004). Com a prévia determinação do peso seco e do peso saturado das amostras, os provetes foram impermeabilizados com uma fina camada de parafina e determinado, desta forma, pelo método de impulsão, o peso específico aparente seco.

A partir destas determinações e do peso da amostra impermeabilizada, preenchendo uma tabela (Quadro 3.7), foi possível, calcular diferentes propriedades índice das características das rochas através das seguintes equações:

Quadro 3.7: Exemplo do quadro utilizado em laboratório para registar e calcular as propriedades índice das rochas.

Cy, sector A		Exemplo		
		Amostra 1	Amostra 2	
Id		Cy-1	Cy-2	
Peso da amostra	(1)	G	70,71	40,37
Peso da amostra saturada		G	80,14	44,52
Peso da amostra com parafina	(2)	G	73,99	41,99
Peso da parafina	(3) = (1) - (2)	G	3,28	1,62
Volume da parafina	(4) = (3) / 0,5	cm <sup>3</sup>	6,56	3,24
Volume da amostra parafinada		cm <sup>3</sup>	26,32	15,79

- **Teor de água Saturado**,  $W_{sat}$ , esta propriedade determina a proporção (em percentagem) entre a água e os sólidos dentro da amostra.

$$w_{sat} = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100 \quad (\%) \quad \text{Eq. 3.1}$$

$$W_w = W_{sat} - W_s \quad (g) \quad \text{Eq. 3.2}$$

Legenda:

$W_w$  - peso da água

$W_s$  - peso dos sólidos

- **Peso Volúmico dos Sólidos**,  $\gamma_s$ , (g/cm<sup>3</sup>), relaciona o peso dos sólidos com o volume dos mesmos na amostra.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (g/cm^3) \quad \text{Eq. 3.3}$$

$$V_s = I_m = W_s - W_{sub} \quad \text{Eq. 3.4}$$

Legenda:

$V_s$  - volume dos sólidos

- **Peso Volúmico Submerso**,  $\gamma_{sub}$  (g/cm<sup>3</sup>), é a diferença entre o peso volúmico saturado e o peso volúmico da água, esta propriedade apenas se aplica em rochas fracturadas, imersas, com boa comunicação hidráulica nas fracturas.

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (g/cm^3) \quad \text{Eq. 3.5}$$

Legenda:

$\gamma_w$  - peso volúmico da água

$\gamma_w$  - (g/cm<sup>3</sup>) = 9,81 kN/m<sup>3</sup>

- **Porosidade**,  $n$  (%), é determinada pela relação do volume de vazios com o volume total da amostra.

$$n = \frac{V_v}{V_s + V_v} \cdot 100 = \frac{V_v}{V_t} \cdot 100 \quad (\%) \quad \text{Eq. 3.6}$$

$$V_v = \frac{W_{sat} - W_s}{\rho_w} \quad \text{Eq. 3.7}$$

$$V_w = V_v \quad \text{Eq. 3.8}$$

Legenda:

$V_w$  - volume da água

$V_v$  - volume de vazios

$V$  - volume total

- **Peso Volúmico Seco**,  $\gamma_d$  ( $g/cm^3$ ), corresponde à relação do peso dos sólidos com o volume total da amostra.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_s + V_v} \quad (g/cm^3) \quad \text{Eq. 3.9}$$

$$V = V_v + V_s \quad \text{Eq. 3.10}$$

$$V_v = V_w \quad \text{Eq. 3.11}$$

$$\gamma_w = W_w / V_w \quad \text{Eq. 3.12}$$

- **Densidade dos Sólidos**,  $G_s$ , relaciona o peso volúmico dos sólidos (peso dos sólidos sobre o volume dos sólidos) com o peso volúmico da água ( $1g/cm^3 = 9,81kN/m^3$ ).

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (g/cm^3) \quad \text{Eq. 3.13}$$

- **Peso Volúmico Saturado**, relaciona a soma do peso sólido com o peso da água sobre o volume total da amostra.

$$\gamma_{sat} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_w} \quad (g/cm^3) \quad \text{Eq. 3.14}$$

- Teor em carbonatos

A determinação do teor em carbonatos foi feita através do ataque com ácido clorídrico, HCl (37%), diluído em 400ml de H<sub>2</sub>O, perfazendo os 10% de concentração de ácido.

Inicialmente foram pesados os gloubles vazios e registado o seu valor. Colocaram-se as amostras em cada um e pesou-se novamente. Juntou-se, então o HCl em cada gloublé verificando a reacção – efervescência. Lavou-se até um pH neutro colocando de seguida na estufa para secar.

Foram novamente pesados os gloubles com as amostras e determinou-se a percentagem de carbonatos.

- Análise granulométrica

A análise granulométrica das partículas foi realizada através da peneiração com séries de crivos em escala  $\Phi$ , com progressão constante da dimensão da malha. Os parâmetros granulométricos

foram calculados através da classificação de Folk & Ward (Anfuso *et al.*, 2003; Prothero & Schwab, 2004), inseridos na folha de cálculo Gradistat (Trindade & Ramos-Pereira (2009)): diâmetros médios,  $M_z$  – exprime a duração e a intensidade do transporte; o grau de dispersão,  $\sigma_1$  – depende da variação de energia, da variabilidade do agente de transporte e do tempo (duração) do transporte; o grau de simetria,  $SK_1$ ; e o grau de agudez dos picos,  $KG$ .

### ENSAIOS DE RESISTÊNCIA

A caracterização geomecânica de massas rochosas é uma ferramenta essencial para a compreensão da evolução geológica assim como da morfologia do terreno relacionando-se com a caracterização da dureza e da estrutura da rocha (Trenhaile, 1987 e 1999, *in* Kennedy & Beban, 2005). Tratando-se, fundamentalmente, de uma ferramenta no contexto de risco geológico (Rodríguez-Losada *et al.*, 2009).

As características de resistência das rochas foram determinadas através de: ensaios de corte directo; ensaios de compressão uniaxial; ensaios brasileiros e determinações *in situ* com martelo de Schmidt. Todos os ensaios foram realizados com as amostras saturadas.

A realização destes ensaios dependeu das características das próprias rochas e da necessidade específica do estudo.

Estes ensaios foram realizados no laboratório de mecânica das rochas do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências que o Prof. Fernando Marques gentilmente cedeu.

#### A) Ensaios de corte directo

Falcão Neves *et al.* (2006) e Rocha (1981), admitem que os ensaios de corte directo têm como objectivo a determinação da caracterização de resistência das rochas face a esforços de corte. Segundo Hudson e Harrison (2000), que a resistência ao ensaio de corte corresponde à função do ângulo de atrito em vez de se tratar da coesão de uma rocha.

Segundo Matos Fernandes (2006) o ensaio de corte directo utiliza amostras de secção quadrangular que são introduzidas numa caixa cortada horizontalmente em duas metades (fig. 3.8). Uma força normal,  $N$ , é aplicada à base superior da amostra por meio de um sistema de pesos e alavancas e mantida constante. O ensaio é efectuado impondo uma translação horizontal com velocidade constante à metade inferior da caixa de corte, enquanto a superior é mantida fixa à custa de reacção,  $T$ , cujo valor é medido em cada instante por meio de um anel dinamométrico.

Para a elaboração deste ensaio os provetes apresentavam geometria paralelepípedica com secção quadrada de seis centímetros de arestas e foram cortados secos, por serragem manual com serra de lâmina adiamantada.

Devido à fraca dureza das amostras argilosas, foi necessário ter cuidado quanto à saturação dos provetes, realizada na câmara de vácuo e na própria caixa dos ensaios. O ensaio consistiu na

aplicação de uma força normal de 34,9kg à superfície de rotura do provete, seguida da aplicação de uma força tangencial crescente, de forma a ocorrer rotura (fase em que atinge a resistência máxima). Segundo Marques (1997) os resultados obtidos por estes ensaios são excelentes, comprovados pelas tensões de corte/deslocamento dos ensaios, onde foi possível observar o valor de pico e o patamar correspondente à tensão de corte pós-pico.

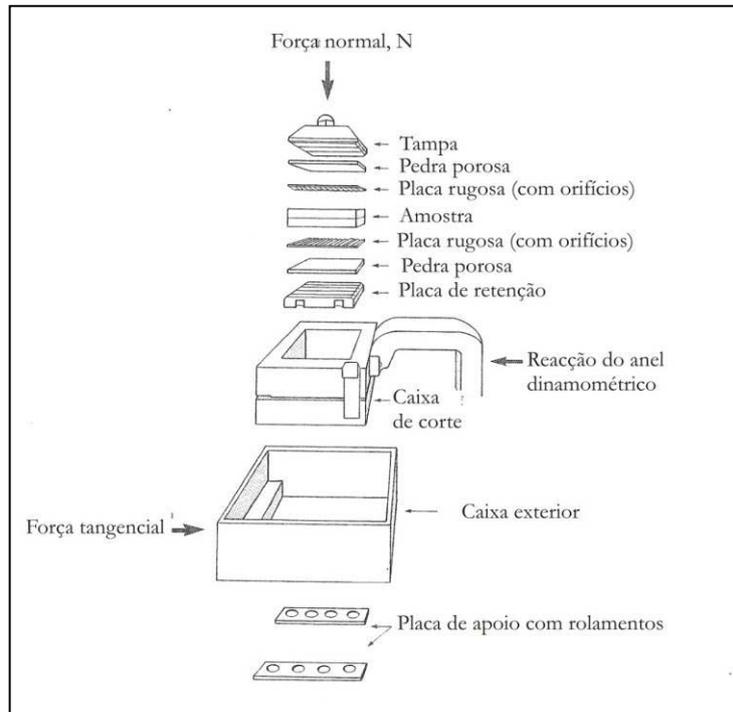


Fig. 3.8: Esquema de um aparelho de corte directo. Adaptado de Bromhead (1986) e Matos Fernandes (2006).

A determinação do ângulo de atrito interno é obtida através da linha de tendência com um declive,  $R^2$ , segundo a expressão:

$$\phi = \arctan(R^2) * \left(\frac{180}{\pi}\right)$$

### B) Ensaios de Compressão Uniaxial

Segundo vários autores, entre os quais Çobanoğlu e Çelik (2008), a resistência à compressão uniaxial é considerada como o parâmetro mais importante na caracterização do material rochoso.

Os ensaios de compressão uniaxial foram realizados sobre provetes totalmente saturados por capilaridade, envoltos em película aderente, com um comprimento de 2,5 vezes o seu diâmetro (ISRM, 1978), com as faces do provete alisadas e regularizadas.

Os provetes foram postos na vertical numa prensa com capacidade de 50kN, constituída por uma célula de carga com capacidade máxima de 10kN. Os provetes foram sujeitos a uma força de

compressão vertical ( $\sigma_1$ ) crescente até atingir a rotura (força máxima que um provete pode estar sujeito).

Ao provete adicionou-se-lhe, através da manivela de accionamento manual, uma força constante até que este ceda à força aplicada sobre ele. Quando o provete cede, desenvolvem-se fracturas, ficando registado valor máximo de força aplicada, ou seja, o limite de resistência da rocha à compressão uniaxial.

A este valor aplicou-se a seguinte equação, para a obtenção da resistência à compressão uniaxial ( $\text{kN/m}^2$ ):

$$\text{Res.Comp. Uniaxial (kN/m}^2\text{)} = Fr / Ab$$

Eq. 3.14

Em que,  
 $Fr$  – Força rotura,  $\text{kN}$   
 $Ab$  – Área da base,  $\text{m}^2$

### C) Ensaio Brasileiro

Os provetes utilizados deste ensaio apresentam como já referida uma forma cilíndrica, com um comprimento inferior ao diâmetro da base, estas foram alisadas e regulares. Procedeu-se à saturação por capilaridade e para impedir cedências os provetes foram envolvidos em película aderente.

Para a realização do ensaio brasileiro colocaram-se os provetes no equipamento destinado aos ensaios de compressão uniaxial, ajustando o equipamento de forma que a face da “bolacha” do provete estivesse assente e as bases na perpendicular.

Foi aplicada uma força sobre o provete, força compressiva vertical ( $\sigma_3$ ), até que ceda fracturando-se (a rotura da força de compressão vertical ( $\sigma_3$ ) é evidenciada por fracturas radiais). Tal como nos ensaios anteriores, fica registado o último valor da força a que o provete foi submetido. Este valor foi incluído na fórmula para o cálculo da resistência em tracção indirecta,  $\sigma_t$ .

$$\sigma_t = \frac{2\tau}{[\pi * (d|100) * (c|100)]} \quad (\text{kN/cm}^2)$$

Em que:

$d$  – é o diâmetro do provete (cm)

$c$  – é o comprimento do provete (cm)

### III. 4 ANÁLISE DE FOTOGRAFIAS AÉREAS

Para complementar a identificação e caracterização dos processos da evolução da arriba, foi ponderado o recuo da arriba através da comparação das linhas de costa de fotografias aéreas e

ortofotomapas de diferentes datas - 1960, 1982 e 2007, fornecidas pelo Instituto Geográfico Português. Este método tem sido utilizado por vários investigadores referido assim como o estudo do desenvolvimento de outro tipo de escarpas (Marques, 1997; Neves, 2004; Dickson, 2006).

Este método implica a ampliação ou redução e sobreposição de fotografias por meios ópticos, ou através da digitalização e redução de uma área com relevância. A precisão destas comparações é variável com a escala das fotografias e com a posição da área de estudo na topografia, pois as fotografias aéreas são afectadas por defeitos e distorções, produzindo erros de vária ordem de grandeza. Os principais erros ocorrem de imperfeições ou inadequações dos dispositivos ópticos, da digitalização ou dos programas utilizados, do tratamento dos problemas relativos às diferenças entre a projecção ortogonal relativamente à projecção cónica das fotografias, em particular em zonas afastadas do centro das fotografias, por não serem considerados os efeitos de distorção geométrica (Marques, 1997).

A comparação de fotografias aéreas apresenta algumas limitações quanto à grande dificuldade, ou mesmo impossibilidade, em avaliar evoluções na base das arribas, e na falta de definição das imagens para detectar e medir pequenos movimentos de massa.

A metodologia utilizada cingiu-se nas delimitações do topo da arriba e da estrada vizinha nas fotografias aéreas e ortofotomapa, com posterior comparação e determinação da distância aproximada em quatro perfis de referência, entre a crista da arriba e a estrada. Como referido, devido às fotografias e ortos de diferentes escalas e aos erros inerentes à georreferenciação, esta avaliação é sempre simples e pouco fiável (devido à falta de rectificação das fotografias e devido à dimensão dos *pixels* das diferentes escalas), no entanto é de comparação imediata.

## CAPÍTULO IV CARACTERIZAÇÃO E EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA

### IV.1 INTRODUÇÃO

A área de estudo compreende uma faixa cerca de 800m de comprimento, limitado a S pelo fim da arriba e a N pelo limite da praia da Malhadinha, na “Ponta dos Pescadores” (fig. 4.1).

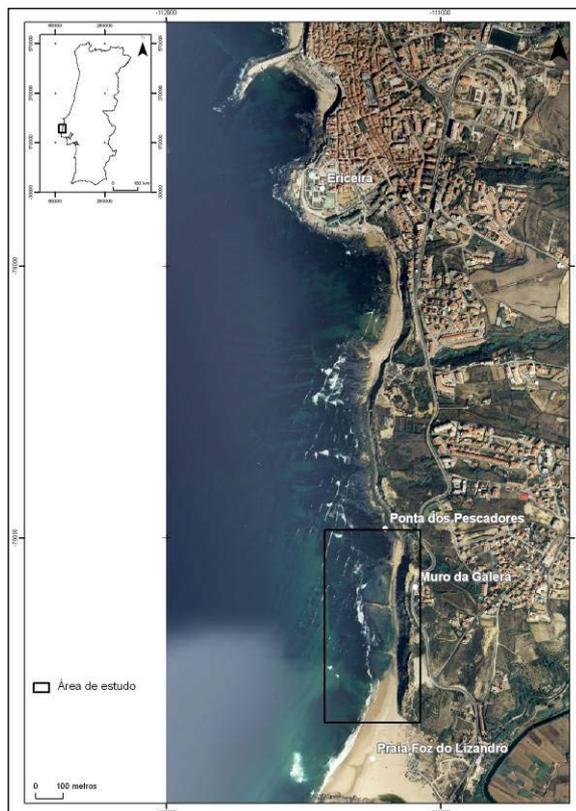
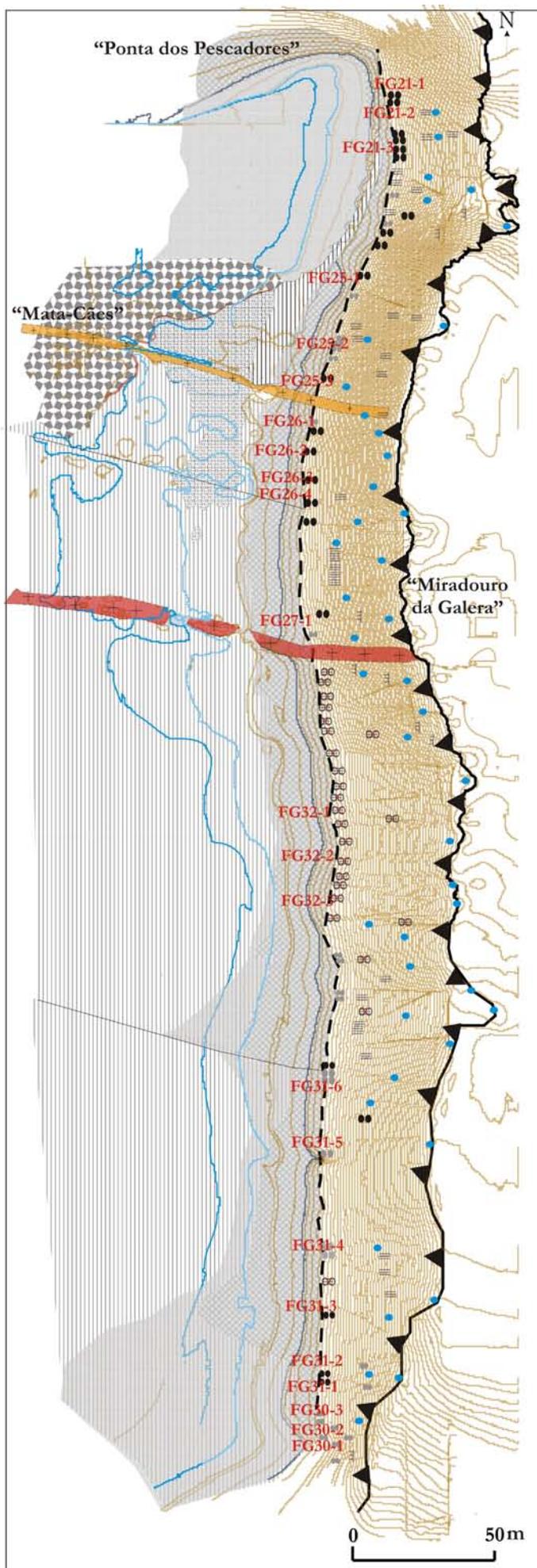


Fig. 4.1: Área de estudo – Foz do Lizandro - Malhadinha. Excerto do Ortofotomapa de 2007. Fonte: Instituto Geográfico Português.

Trata-se de uma faixa costeira com dois sistemas litorais principais: Sistema Praia-Arriba (14% do litoral em estudo), com areia grosseira e uma espessura variável (a N da área); Sistema Plataforma-Arriba (63% do litoral em estudo), com plataforma rochosa de sopé que se estende para um nível inferior ao nível médio de maré baixa viva. Porém, ocorre um outro Sistema Plataforma-Arriba em que a plataforma está frequentemente coberta por areia de praia (23% do litoral em estudo). Genericamente, a área de estudo está exposta a W, favorável à ondulação dominante da costa W Portuguesa.

Através do esboço geomorfológico (fig. 4.2) é possível observar-se que a arriba ao longo da faixa costeira em estudo, aumenta de comando de S para N, com 11,08m, junto à praia Foz do Lizandro e 52m no Miradouro da Galera.



**Legenda:**

- ▲ Topo da arriba
- Base da arriba
- Curvas de nível
- Nível médio de maré baixa viva
- Nível médio do mar
- Nível médio de maré alta viva
- Fractura
- Filão de rocha ígnea dolerítica
- Filão de rocha ígnea alterada
- Acumulação de areia de praia
- Acumulação de blocos
- Plataforma rochosa de sopé
- Cabeços residuais - micromorfologia na plataforma rochosa de sopé
- Plataforma rochosa de sopé desagregada
- Cicatriz de desabamento
- Deslizamentos
- Queda de blocos
- Processo misto (queda de blocos e erosão hídrica)
- Possível processo misto (queda de blocos e deslizamentos)
- Pontos de escoamento de água - superficial e subsuperficial

**FG30-1** Identificação de depósitos de movimentos de massa

Fig. 4.2: Esboço geomorfológico da área de estudo.

A- arriba com exposição a W face ao mar apresenta um declive geral de 42° caracterizado por pequenas variações ao longo dos sistemas, sendo bastante influenciada por escoamentos superficiais no alto da arriba, em especial no sistema praia-arriba N e no sistema plataforma-arriba. Constata-se que é neste último que ocorrem mais movimentos de massa, em especial queda de blocos e erosão hídrica (fig. 4.2).

Da análise das fotografias aéreas de 1960 e 1982, georreferenciadas com base no ortofotomapa de 2007, em que os resultados se apresentam em anexo (Anexo I), foi possível traçar o topo da arriba e a estrada municipal nas três diferentes datas (fig. 4.3). Como as mesmas não se encontram ortorectificadas existem erros inerentes à comparação das mesmas, aproximadamente 1,6m.

A partir do traçado do topo da arriba foi feita uma análise simplista quanto à distância entre o rebordo da arriba e a estrada existente, em quatro perfis idênticos (Quadro 4.1).

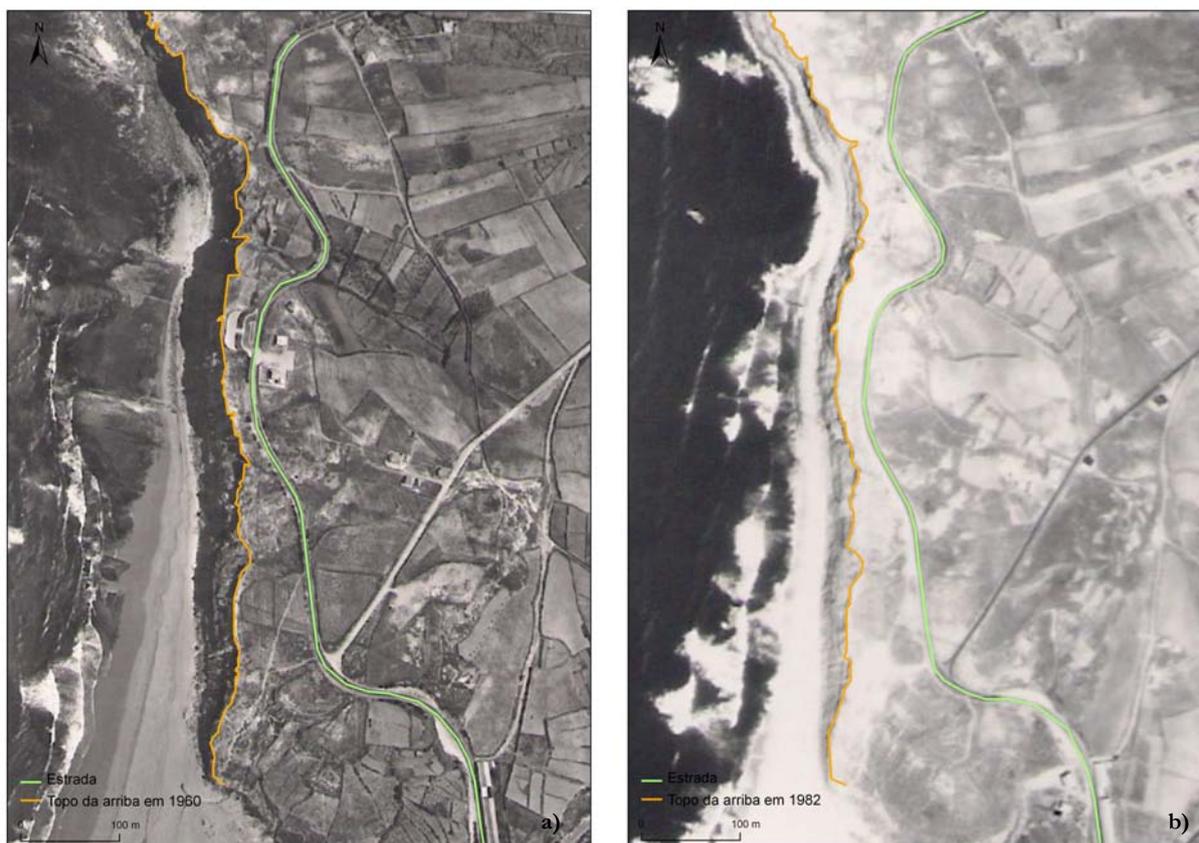




Fig. 4.3: Fotografias aéreas não rectificadas e ortofotomapa. Traçado do topo da arriba (a laranja) a) Fotografia de 1960, b) Fotografia de 1982 e c) Ortofotomapa 2007. Fonte: Instituto Geográfico Português.



Quadro 4.1: Distâncias entre o topo da arriba e a estrada. Identificação dos perfis. Fonte: Instituto Geográfico Português.

	Perfis			
	1	2	3	4
<b>Foto. Área 1960</b>	86 m	38 m	67 m	89 m
<b>Foto. Área 1982</b>	84 m	35 m	64 m	85 m
<b>Orto 2007</b>	82 m	35 m	65* m	83 m

\* valor que pode estar relacionado com a não ortorrectificação das fotografias aéreas

Verifica-se assim, a existência de um recuo variável ao longo de todo o topo da arriba, nestes 47 anos, tratando-se de forma geral um recuo lento com movimentos de pequena magnitude que não implicam necessariamente o recuo significativo do topo da arriba.

Litologicamente, a área é caracterizada por uma alternância de bancadas com predomínio de material mais brando – margas – com material mais resistente – calcário – com diferentes percentagens de cimento argiloso e ainda algumas unidades de arenitos, apresentando, o conjunto, uma inclinação de 6°S. Observa-se igualmente, a instalação de material ígneo com diferentes resistências, que cortam as bancadas atrás referidas. As figuras seguintes (fig. 4.4 e 4.5) representam as unidades litológicas identificadas, a coluna litoestratigráfica e o corte geológico da arriba.

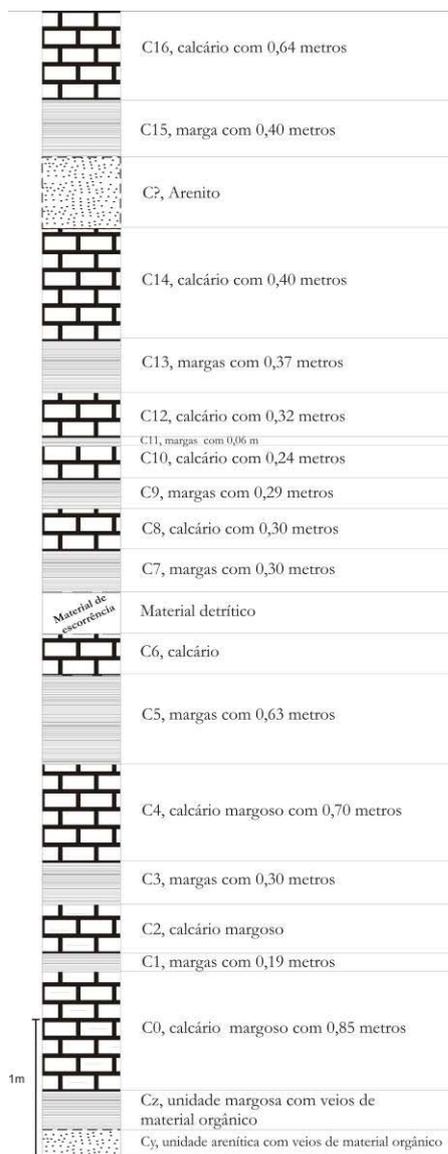


Fig. 4.4: Coluna lito-estratigráfica e composição litológica das unidades identificadas.

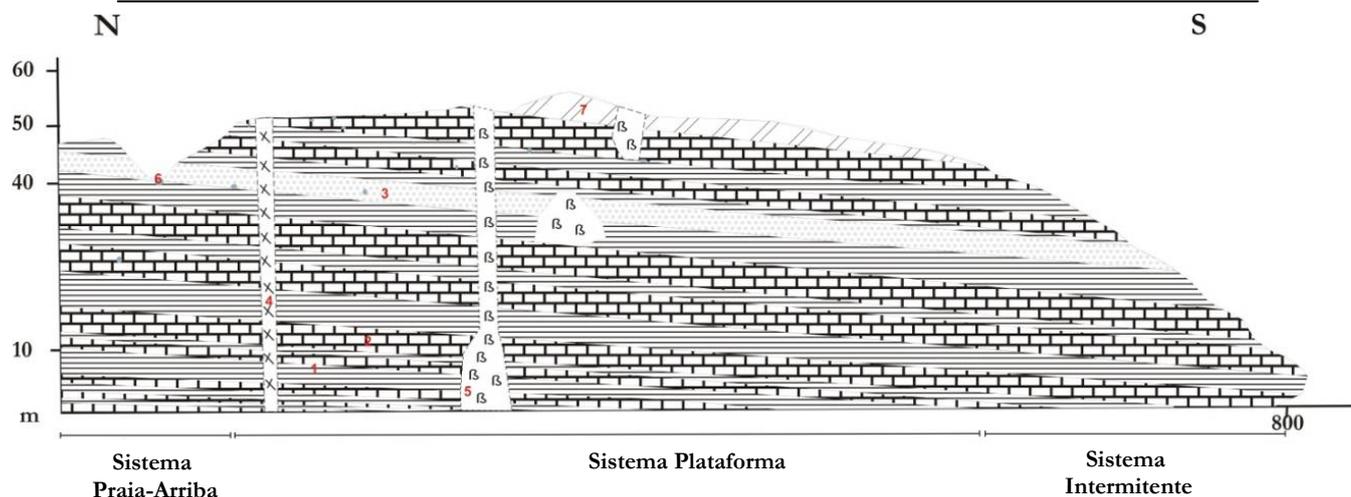


Fig. 4.5: Perfil esquemático longitudinal da arriba, com orientação N-S. Legenda: 1 - Margas; 2 - Calcário Margoso; 3 - Arenitos; 4 - Filão de material alterado; 5 - Filão de dolerito; 6 - Pontos de escoamento; 7 - Material detrítico alterado.

Em resumo, a área de estudo é composta, basicamente, por duas litologias: calcários (mais ou menos margoso) intercalados por material mais brando – margas, com diferentes espessuras com fraca inclinação para Sul. As diferentes espessuras não ultrapassam o 1,20m, para as margas e 0,85m, para os calcários. Estes estão francamente fracturados por duas famílias distintas: N348° e N80°. Identifica-se na base material arenítico mais antigo e no topo da arriba arenitos mais recentes. Estas unidades são interceptadas por dois tipos de filão: filão sobrelevado (ou filão-dique) de material dolerítico ou filão “Mata-Cães” de material ígneo mais brando.

O “Filão-Dique” (a meio do Sistema Plataforma-Arriba) de altura média de 51cm corresponde a material muito mais resistente de dolerito de granularidade fina e muito fracturado com espessura que varia de 4,5m a 6,20m. Foi feita uma análise pormenorizada da rede de fracturas (Quadro 4. 2) indicando a existência de duas redes principais com atitudes média de N168,5°, 67°W e N77°, 67,5°S.

Quadro 4.2: Características da rede de descontinuidades do filão sobreelevado.

Família descontinuidades	Id	Atitude	Espaçamento (m)	Extensão e persistência (m)	Abertura (cm)	Preenchimento	
						Material	Granulometria
F'	F'1	N169°, 49°W	0,42	1,07	0,1	Em contacto*	
	F'2	S168°, 36°W	0,86		0,1	Em contacto*	
F''	F''1	N77°, 68°S	0,22	0,40	0,1	Em contacto*	
	F''2	N77°, 67°S		0,32	0,1	Em contacto*	

\* Contacto em ondulação plana

O outro filão, “Mata-Cães” (próximo do limite N do Sistema Plataforma-Arriba) é composto por um material muito pouco resistente e muito alterado na arriba. O encaixe (com larguras entre 1,2 e 2,6m), na plataforma, apresenta acumulações de material detrítico. Das camadas que o filão intercepta, observam-se pequenos veios de quartzo (quer nas paredes da instalação quer no material ígneo alterado existente).

Porém, para o estudo específico, identificaram-se as unidades litológicas de referência para os sistemas: (i) unidades subjacentes a C0, que não afloram a Sul do sistema praia-arriba; e a (ii)

unidade litológica C<sub>0</sub>. Com o objectivo de alargar o número de unidades em estudo, para efectuar um estudo comparativo com posterior generalização das camadas de calcário e das camadas mais argilosas, analisaram-se as bancadas de calcários C<sub>1</sub>, C<sub>6</sub> e C<sub>8</sub> e também a bancada de arenito. Caracterizou-se C<sub>2</sub>, C<sub>6</sub> e C<sub>8</sub> porque também representam a plataforma rochosa a S do Sistema Plataforma-Arriba.

As unidades mais antigas são apenas observadas junto da “Ponta dos Pescadores”, afloramento que surge devido à inclinação das camadas para S. Este afloramento é constituído por material mais brando e menos resistente - marga Cz e arenito Cy.

Sendo a presença e a orientação das descontinuidades o factor mais importante que afecta a evolução de uma arriba (Moore *et al.*, 2009) foi feita uma inventariação pormenorizada da rede de descontinuidades para C<sub>0</sub>.

Para o Sistema Praia-Arriba identificam-se duas famílias distintas: a principal com azimute entre N344° e N352°, apresentando-se com uma maior abertura preenchida por areias, enquanto a secundária com azimute entre N77° e N90° correspondendo a descontinuidades em contacto (Quadro 4.3 e fig. 4.6).

Quadro 4.3: Família de descontinuidades na camada C<sub>0</sub>.

Família descontinuidades	Id	Azimute	Espaçamento (m)	Extensão e persistência (m)	Abertura (cm)	Preenchimento	
						Material	Granulometria
F'	F'1	N348°	0,77	13,72	7	Areia e calhau	Areia média
	F'2	N352°	0,85	2,40	8	Areia	Areia grosseira
	F'3	N344°	0,50	3,2	1,6	Areia	Areia grosseira
	F'4	N346°	0,61	1,77	0,3	Areia	Areia média
	F'5	N352°	1,47	2,38	0,2	Areia	Areia média
F''	F''1	N80°	0,754	1,24	0,1	Siltes	
	F''2	N90°	1,7	2,00	0,2	Em contacto	
	F''3	N78°	1,13	1,90	0,2	Em contacto	
	F''4	N82°	1,17	0,83	0,2	Em contacto	
	F''5	N77°	0,925	0,884	0,2	Em contacto	
	F''6	N79°	0,842	1,14	0,2	Areia	
	F''7	N82°	1,01	1,06	0,2	Areia	

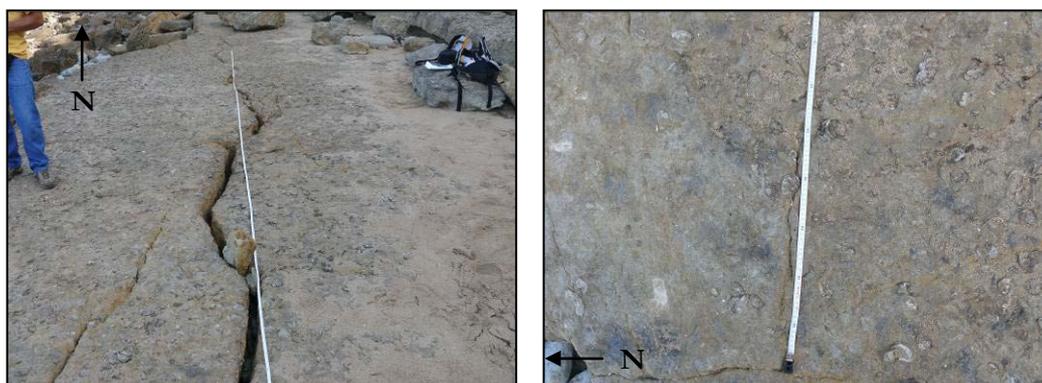


Fig. 4.6: Exemplo das descontinuidades existentes na camada de calcários C<sub>0</sub>.

Para o Sistema Plataforma-Arriba identificam-se uma vasta rede de fracturas (Quadro 4.4 e fig. 4.7).



Fig. 4.7: Detalhe da rede de descontinuidades de C0.

Quadro 4.4: Caracterização da família de descontinuidades da unidade C0.

Família descontinuidades	Id	Atitude	Espaçamento (m)	Extensão e persistência (m)	Abertura (cm)	Preenchimento	
						Material	Granulometria
F'	F'1	N18°	2,80	8,53	5	Areia	Média
	F'2	N350°	1,19	4,50	6,5	Areia	Média
	F'3	N20°	1,20	11	3	Areia	Média
	F'4	N344°	1,40	5,42	6	Areia	Média
	F'5	N1°	1,50	11,12	7	Areia	Média
	F'6	N341°	1,10	10,63	0,2	Em contacto	-
	F'7	N340°	1,41	10,52	4	Em contacto	-
	F'8	N341°	2,10	16,75	6	Areia	Média
	F'9	N22°	1,83	15	10	Areia	-
F''	F'2	N19°	2,30	7,28	5	Em contacto	-
	F''1	N73°	0,84	1,42	0,01	Em contacto	-
	F''2	N89°	1,99	1,17	0,01	Em contacto	-
	F'3	N80°	10,40	Mais de 15	10	Areia	-
F'''	F'4	N71°		Mais de 30	10	Areia	-
	F'''1	N33°	1,40	6,45	2	Areia	Média
	F'''2	N51°	1,77	1,49	3	Em contacto	-
	F'''3	N53°	1,60	1,10	0,2	Em contacto	-
	F'''4	N31°	1,50	16,90	6	Areia	-

A plataforma é caracterizada principalmente por duas outras orientações principais de descontinuidades, perpendiculares entre si (Quadro 4.5). As duas fracturas principais atravessam toda a plataforma: a primeira prolonga-se desde a base da acumulação dos blocos e calhaus, até ao mar (fig. 4.8 a)), enquanto a segunda atravessa a fractura anterior e estende-se desde o filão dique até ao limite morfológico N do sector – fractura (fig. 4.8 b)).

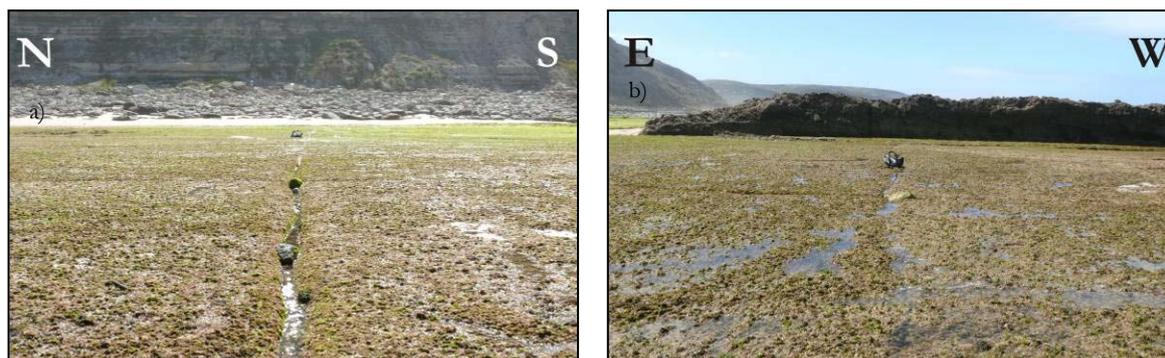


Fig. 4.8: a) detalhe da descontinuidade com orientação E-W; b) detalhe da descontinuidade com orientação N-S gráfico de dispersão de volume dos blocos.

Quadro 4.5: Características da rede de descontinuidades identificadas em C0.

Família descontinuidades	Id	Atitude	Espaçamento (m)	Extensão e persistência (m)	Abertura (cm)	Preenchimento	
						Material	Granulometria
F'	F'1	N79°E	3,40	+ de 30	8	Areia	Média
	F'2	N96°E	1,43	+ de 30	8	Areia	-
	F'3	N74°E	1,26	+ de 30	6	Areia	Fina
F''	F''1	N12°W	1,60	4	2	Areia	-
	F''2	N14°W		2,50	3	Areia	-

Em comparação com os valores levantados para as descontinuidades de C0, no sistema Praia-Arriba, é possível verificar algumas diferenças, para o sistema Plataforma-Arriba, em especial na família F' que abrange para além do primeiro quadrante o segundo. Para F'' verifica-se um azimute muito mais próximo do N.

Para além disto, foi feita a inventariação para outra unidade de calcário – C4, esta apresenta-se com fracturas com orientações aproximadamente de N353° e N280° (fig. 4.9 e 4.10). Estas podem cortar toda a unidade, podendo ocorrer também, intrusões de veios de calcite, com uma espessura de 1cm.

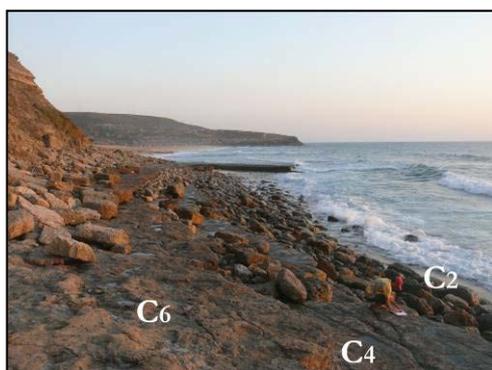


Fig. 4.9: Pormenor das camadas salientes da base da arriba.



Fig.4.10: Pormenor da rede de descontinuidades da unidade C4.

Sobre C5 (margas), depositou-se um calcário margoso revestido transversalmente por uma fina camada de calcite. A rede de diáclases que o caracteriza tem a mesma orientação que a camada

subjacente de calcário (Quadro 4.6). Deste modo identificaram-se duas famílias de fracturas com orientação entre N°3 e N-S e com orientação E-W.

Quadro 4.6: Características das discontinuidades.

Família descontinuidades	Id	Atitude	Espaçamento (m)	Extensão e persistência (m)	Abertura (cm)	Preenchimento	
						Material	Granulometria
F'	F'1	N3°	0,51	4,91	0,40	Calcite, contacto bem delimitado	-
	F'2	N180°	0,562	3,45	1,6	Calcite, contacto bem delimitado	-
	F'3	N180°	0,97	1,90	1,6	Calcite, contacto bem delimitado	-
	F'4	N180°	1,03	5,35	0,60	Fina camada de calcite	-
F''	F'5	N78°	1,57	3,80	0,2	Calcite	-
	F''1	E-W	1,29	1,45	0,1	Em contacto	-
	F''2	E-W	0,638	1,60	-	Em contacto	-

Na face da arriba, destes dois sistemas litorais, afloram as bancadas litológicas, por vezes, cobertas pela acumulação de depósitos de movimentos de vertente. A base da arriba encontra-se fossilizada por uma acumulação de material detrítico (fig. 4.2) proveniente de processos subaéreos e marinhos. Este material apresenta uma variação lateral de volume e inclinações de acumulações, bem como de natureza, grau de rolamento e dimensão do material.

O Sistema Intermitente é caracterizado pela existência de uma plataforma rochosa de sopé que apresenta uma extensão máxima de 514,43m, dos quais os 144 estão frequentemente cobertos de areia. Por este motivo, não foi possível fazer uma caracterização detalhada da rede de fracturas.

Para além da caracterização de fracturas é importante conhecer as propriedades específicas das unidades litológicas que afloram neste troço costeiro. Nesse sentido, foram recolhidas em diferentes pontos da área várias amostras de diferentes unidades litológicas (Cy, C0, C6, C?, C8).

Estudaram-se as suas propriedades índice, em especial, o estudo dos pesos específicos e de porosidades. Analisou-se *in situ* o valor de ressalto, R, para as mesmas bancadas e inclui-se a determinação do valor R para o filão dolerítico (filão sobre-elevado). Os valores obtidos destas análises estão representados nos seguintes quadros (Quadro 4.7 e 4.8).

Quadro 4.7: Resumo das propriedades índice das camadas Cy, C0, C6, C? e C8.

Índice	Cy	C0	C6	C?	C8
Ww (g)	6,97	2,89	2,70	10,03	0,41
wsat (%)	22,13	2,42	2,65	7,38	1,18
Vs (cm³)	13,99	42,64	29,60	62,10	11,29
γs (g/cm³)	3,21	2,78	3,42	5,74	4,34
Vv (cm³)	6,97	2,89	2,70	10,03	0,41
Vt (cm³)	20,96	45,53	32,30	72,13	11,70
γd (g/cm³)	1,94	2,60	3,08	3,60	4,12
n (%)	37,68	6,33	8,25	28,71	4,96

<b>Gs</b>	0,33	0,28	0,35	0,58	0,44
<b>γ<sub>sat</sub> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,31	2,66	3,26	3,89	4,17
<b>Peso Esp (g/cm<sup>3</sup>)</b>	3,21	2,78	3,42	5,74	4,34
<b>Peso Esp (kN/m<sup>3</sup>)</b>	31,49	27,27	33,57	56,26	42,62

Legenda:

Peso Seco/Peso Sólidos	W <sub>s</sub>	Densidade dos Sólidos	G <sub>s</sub>
Peso Saturado	W <sub>sat</sub>	Peso Volúmico Saturado	γ <sub>sat</sub>
Peso Submerso	W <sub>sub</sub>	Peso Volúmico da Água	γ <sub>w</sub>
Teor de água Saturado	ω <sub>sat</sub>	Volume dos sólidos	V <sub>s</sub>
Peso Volúmico dos Sólidos	γ <sub>s</sub>	Peso da Água	W <sub>w</sub>
Peso Volúmico Submerso	γ <sub>sub</sub>	Volume da Água	V <sub>w</sub>
Porosidade	n	Volume de Vazios	V <sub>v</sub>
Peso Volúmico Seco	γ <sub>d</sub>	Volume Total	V <sub>t</sub>

Quadro 4.8: Resumo dos valores de ressalto, R, do Martelo de Schmidt para Cy C0, C6, C?, C8 e FS.

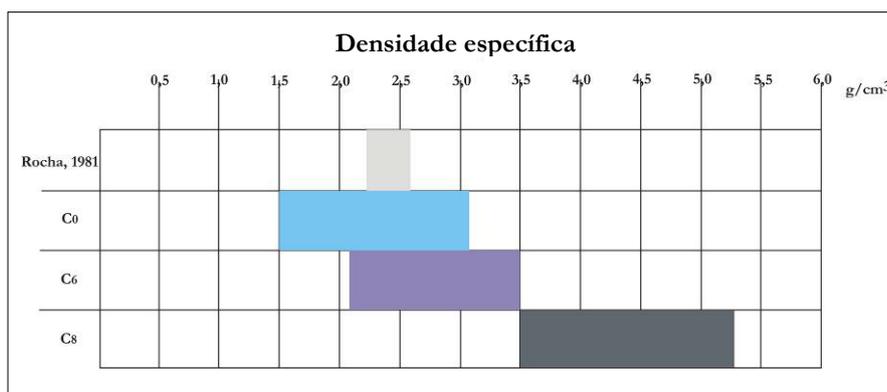
Litologia	Id	Nº de Medições	Valor de R			
			Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
Arenito	Cy	100	37,03	47	28	4,19
Calcário Margoso	C0	700	50,13	62	28	5,79
Calcário	C6	280	51,19	66	20	10,3
Arenito	C?	100	36,44	40	22	2,80
Calcário	C8	260	47,06	62	22	8,69
Dolerito (Filão)	FS	120	57,38	64	39	4,88

Os resultados das análises das propriedades índice permitiram verificar que os calcários apresentam-se com valores de peso específico variável, aumentando das bancadas superiores para as inferiores, indicando variações nos seus componentes.

A realização de 700 medições com o martelo de Shmidt teve como resultado um valor de ressalto, R, médio de 50,13, para a bancada C0, 51,19 para C6 e para C8, 47,06. Indicativo de uma variação vertical, mostrando uma maior resistência no calcário mais antigo.

Observa-se que as bancadas de arenito variam bastante quer a nível de porosidade quer a nível de peso específico, com 38% e 3,21 g/cm<sup>3</sup> para o arenito mais antigo, e 29% e 5,74 g/cm<sup>3</sup> correspondente a C?. No entanto, o valor de ressalto é muito próximo (37 e 36, respectivamente). Indicando que, apesar da resistência ser semelhante, os arenitos poderão ter composições diferentes, bem como granulometrias diferentes (observadas em campo), causando estas discrepâncias nas propriedades.

De acordo com os valores obtidos máximos e mínimos das propriedades dos calcários margosos – C0, C6 e C8 – foi feita uma comparação relativamente aos dados que Rocha (1981) apresentou (fig. 4.11).



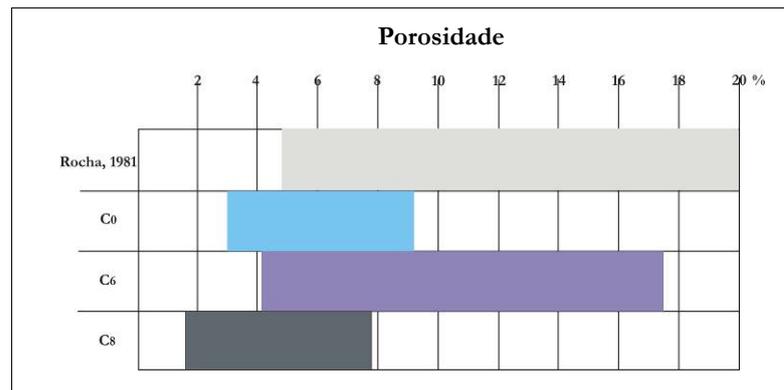


Fig. 4.11: Valores de densidade específica e de porosidade obtidos para os calcários margosos (C0, C6 e C8) e valores típicos para calcários puros apresentados por Farmen (1968) in Rocha (1981).

Verificou-se que o peso específico dos calcários margosos, C0 e C6, compreendem os valores resultantes de ensaios e apresentam uma maior amplitude, enquanto C8 não se enquadra nos valores típicos referidos por Rocha (1981). Quanto à porosidade é possível concluir que os calcários em análise, enquadram-se em grande parte na gama de valores de Rocha (1981), podendo apresentar percentagens de porosidade inferiores. Por sua vez, o estudo realizado por Katz *et al.* (2000) em calcários puros de granularidade fina, indica valores de porosidade entre 18% e 23% e valores de ressalto do martelo de Schmidt de 41,5 e 50,6.

De forma generalista, o valor de ressalto e as densidades específicas das camadas C0, C6 e C8 apresentam uma tendência de proporcionalidade indirecta, ou seja, para valores de ressalto baixos observam-se valores de densidade altos – C8, enquanto para valores de R altos observam-se valores de densidade baixos.

Foi analisada a variação lateral (fig. 4.12 e 4.13) a nível de valores de ressalto e a nível das propriedades índice das unidades C0, C6 e C8. Verificou-se para o valor de ressalto de C0 uma certa linearidade ao longo do troço, porém para C6 há um aumento de ressalto para S, enquanto para o calcário C8 observa-se uma redução.

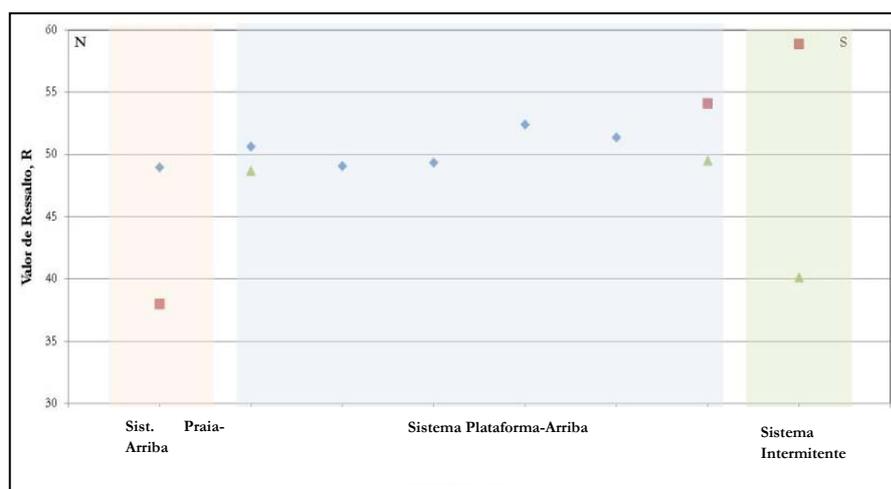


Fig. 4.12: Variação lateral dos valores de ressalto para C0, C6 e C8.

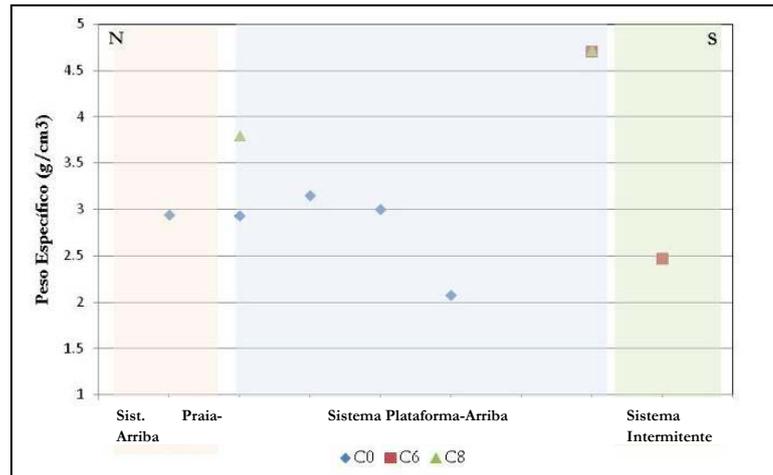


Fig.4.13: Variação lateral dos valores de peso específico para C0, C6 e C8.

Para o maior sistema caracterizado, Sistema Plataforma-Arriba, foi feita uma análise mais detalhada sobre as propriedades índice das bancadas C0, C6 e C8. Realizaram-se ensaios com o martelo de Schmidt, tendo-se obtido um valor médio para C0, de todo o sistema, de 50,54 e de 54,08 e 49,14 para C6 e C8, respectivamente. Relativamente às propriedades índice obtiveram-se valores de peso específico compreendidos entre os 2,73g/cm<sup>3</sup> a 3,00g/cm<sup>3</sup> para C0 e de 4,7g/cm<sup>3</sup> para C6 e 3,79g/cm<sup>3</sup> para C8. Para a porosidade determinou-se valores de 5,8%, 10,58% e 3,2%, respectivamente (Quadro 4.9 e 4.10).

Quadro 4.9: Valores de ressaltos, *R*, para as unidades C0, C6 e C8.

Litologia	Id	Nº de Medições	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
Calcário Margoso	C0	520	50,54	62	30	5,47
Calcário Margoso	C6	100	54,08	61	34	5,18
Calcário Margoso	C8	200	49,135	62	26	8,54

Quadro 4.10: Propriedades índice da unidade C0 e C6.

Índice	C0	C6
Ww (g)	2,60	3,24
ωsat (%)	2,46	2,43
Vs (cm³)	36,90	34,69
γs (g/cm³)	2,73	4,7
Vv (cm³)	2,60	3,24
Vt (cm³)	39,49	34,93
γd (g/cm³)	2,55	4,12
n (%)	6,33	10,50
Gs	0,28	0,48
γsat (g/cm³)	2,61	4,23
Peso Esp (g/cm³)	2,73	4,7
Peso Esp (kN/m³)	25,63	46,1

Estimou-se o valor à compressão uniaxial para C0 entre 190-225MPa, para C6 foi superior a 300MPa, no entanto, através do ábaco e do valor mínimo do peso específico obtido – 34,68kN/m<sup>3</sup>, estimou-se um valor superior a 250MPa. Para C8, estimou-se um valor de resistência à compressão

uniaxial de 300MPa. Estes valores, são todos indicativos de uma rocha muito resistente a extremamente resistente (Hoek & Brown, 1997; Marinos & Hoek, 2000a; Hoek, 2001).

Realizou-se uma comparação de valores de ressalto para o calcário e para o filão-dique. Obtiveram-se valores de ressalto médio de 49,35 para a plataforma, 57,38 e para o filão (Quadro 4.11).

Quadro 4.11: Valores de ressalto com o martelo de Schmidt.

Litologia	Id	Nº de Medições	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
Calcário Margoso	C0	120	49,35	62	37	4,95
Filão	FS	120	57,38	64	39	4,88

Desta análise global constata-se que os valores de peso específico obtidos não permitem determinar a variação lateral para C6 e C8. Porém, verifica-se que C0 tem uniformidade ao longo de toda a área, excepto a S do Sistema Plataforma-Arriba. Este valor “anómalo” dever-se-á a uma possível modificação da composição da bancada ou erro na análise laboratorial. Relativamente à análise da variação lateral do valor de R verifica-se que há realmente algumas variações quanto à resistência das bancadas litológicas, no entanto não deixam de representar unidades muito resistentes (quer os calcários, quer os arenitos).

O valor de ressalto do filão de dolerito apresenta um valor superior, relativamente às restantes unidades litológicas, configurando-lhe uma maior resistência (Quadro 4.3). Daí ser uma unidade litológica muito mais saliente em todo este litoral do que as restantes.

Por último os resultados aqui apresentados podem indicar que C0 é mais susceptível à penetração da água, mais vulnerável ao ataque da ondulação e dos agentes da meteorização. Porém e de acordo com os valores teóricos fornecidos, a densidade destes calcários é muito superior, indicando que se tratam de calcários com algum cimento argiloso, tornando-os por isso mais coesos.

Para um estudo detalhado da evolução deste troço costeiro e com base em Hapke *et al.* (2009), que admite uma relação existente entre a geomorfologia do litoral e o sistema litoral, realizou-se uma análise por sectores individualizados por sistema litoral de N para S – Sistema Praia-Arriba, Sistema Plataforma-Arriba e Sistema Intermitente (fig. 4.14). Assim foram analisados aspectos morfológicos relevantes que possam influenciar as características da sua evolução: o declive e o comando da arriba, o comando da arriba e as características dos depósitos junto à base.

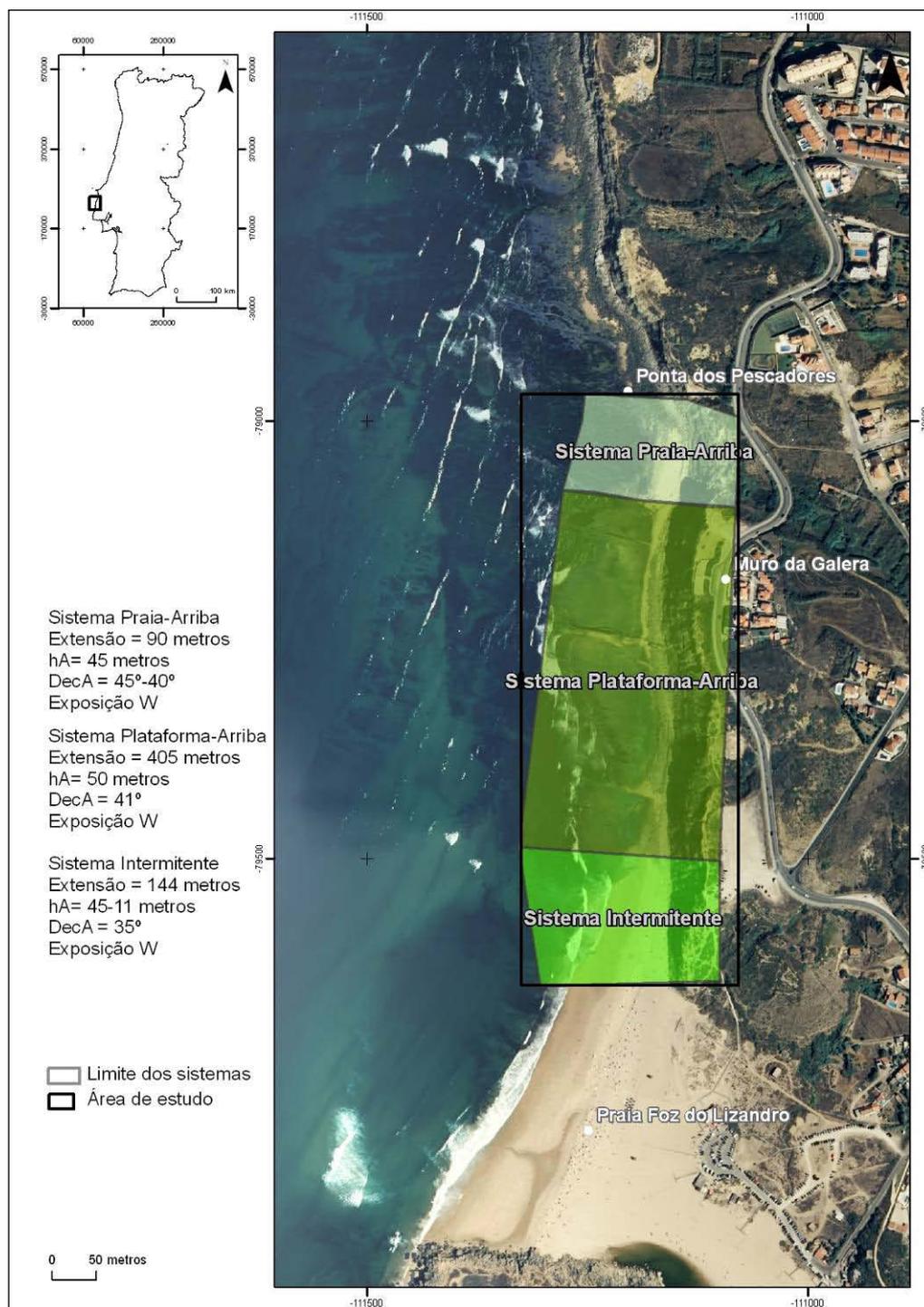


Fig. 4.14: Divisão em sectores e principais características. hA – altura da arriba; DecA – declive da arriba.

## IV.2 SISTEMA PRAIA-ARRIBA – PRAIA DA MALHADINHA

### IV.2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

O Sector Praia-Arriba da Malhadinha (fig. 4.15) caracteriza-se por possuir uma praia encastrada com uma extensão, aproximada, de 90m. Limitado a N pela “Ponta dos Pescadores (acumulação abundante de blocos e calhaus) e com o afloramento das primeiras camadas argilosas e areníticas; e a S pelo início da plataforma rochosa de sopé de calcário margoso desagregada em blocos aproximadamente paralelepípedos de grandes dimensões, provenientes da remoção das bancadas mais brandas subjacentes e do aproveitamento da rede de fracturas. A acumulação de areia na praia termina com o aparecimento de uma camada de calcário saliente.

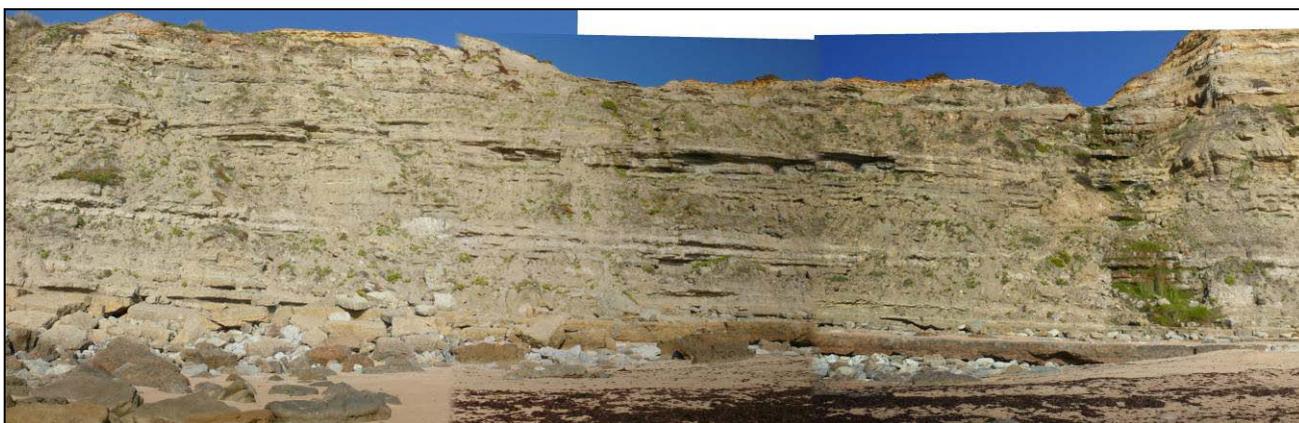


Fig.4.15: Arriba do Sistema Praia-Arriba - Malhadinha.

A faixa entre-marés e o sopé da arriba são constituídos pela: (i) acumulação de areia, com declive médio de 27° ao centro do sector, espessura variável que ultrapassa um metro, dependendo da agitação marítima; (ii) acumulações de blocos e calhaus trabalhados pelo mar, com um declive médio de 25°; (iii) uma área de 830m<sup>2</sup> de depósitos de vertente, constituídos por blocos e material argiloso, com um declive de 30° e (iv) uma bancada saliente de calcário margoso, C0. Sobre esta unidade existem pequenas acumulações de areias (que nunca ultrapassam os 0,20m de espessura) e acumulação de depósitos de vertentes com diferentes volumes, de 41° a 32° (fig. 4.16). Este material proveniente da arriba mostra-se em algumas situações truncado devido à acção do mar.

A arriba deste sector apresenta um comando médio de 45m, com abertura em forma de concha, com exposição geral W. A N, observa-se na arriba o afloramento das primeiras camadas areníticas, argilosas e calcário margoso, inclinadas ligeiramente para S.



Fig. 4.16: Pormenor acumulação de depósitos de vertentes com diferentes volumes.

Na face da arriba, a presença de espécies vegetais permite a identificação de uma nascente perene (a S do sector) e pontos de escoamento superficial e sub-superficial (fig. 4.4). Estes escoamentos afectam fundamentalmente as unidades mais brandas. A sua erosão vai colocar em evidência as bancadas mais resistentes que, fragilizadas pela rede de fracturas, acabam por se desagregar, provocando movimentos de massa.

#### IV.2.2 LITOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS

##### IV.2.2 A) LITOLOGIA

Realizaram-se análises granulométricas sobre amostras da areia de praia em dois períodos distintos e em locais também distintos da praia: 24 de Março de 2009 e 24 de Junho de 2009 na face e berma de praia. De acordo com a classificação de Folk e Ward as areias, para as duas datas de recolha e para os dois locais, eram grosseiras sem fracção fina, com uma assimetria negativa e leptocúrticas (Quadro 4.12 e fig. 4.17).

Quadro 4.12: As médias das características das areias da Praia da Malhadinha.

ID	Dimensão		Calibragem ( $\sigma$ )		Assimetria ( $Sk$ )		Curtose ( $K$ )		Descrição
	( $\mu\text{m}$ )	( $\Phi$ )	( $\mu\text{m}$ )	( $\Phi$ )	( $\mu\text{m}$ )	( $\Phi$ )	( $\mu\text{m}$ )	( $\Phi$ )	
<b>BP-14Mar</b>	654,6	0,611	1,381	0,465	0,178	-0,178	1,165	1,165	Areia grosseira, bem calibrada, assimetria negativa, leptocúrtica
<b>FP-14Mar</b>	646,6	0,629	1,372	0,457	0,144	-0,144	1,138	1,138	
<b>FP-24Jun</b>	641,1	0,641	1,289	0,366	0,224	-0,244	1,465	1,465	
<b>BP-24Jun</b>	627,3	0,673	1,290	0,367	0,111	-0,111	1,307	1,307	

Legenda: BP – Berma de praia; FP – Face de praia

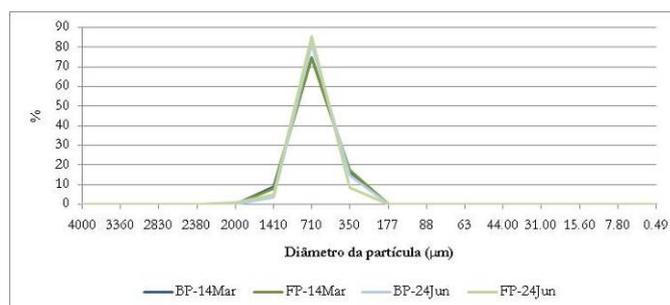


Fig. 4.16: Gráfico que representa as percentagens de diâmetro da partícula.

A nível litológico, neste sistema, afloram as bancadas de Cy a C14.

A base da arriba é composta por um calcário saliente que se estende em todo o sector, prolongando-se para os restantes. Apresenta uma espessura de 0,85m.

Devido à inclinação ligeira das camadas para S, observa-se a N o prolongamento das bancadas subjacentes a C0, identificando-se material argiloso e arenítico (Cz e Cx, respectivamente) com veios de material orgânico (fig. 4.18).



Fig. 4.18: Pormenor das unidades subjacentes a C0: Cz e Cy. C0 – calcário margoso; Cz – margas; Cy – arenito.

#### IV.2.2 B) CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Recolheu-se no campo amostras de C0, Cy e C? (calcário margoso e arenitos, respectivamente) para uma análise das características das propriedades índice das rochas (Quadro 4.13).

Quadro 4.13: Resumo das propriedades índice da camada Cy e C?.

Índice	A-C? 1	A-C? 2	A-Cy 1	A-Cy 2	A-Cy 3
<b>Ww (g)</b>	25,17	2,29	9,43	4,15	7,33
<b>ωsat (%)</b>	5,36	6,43	13,34	10,38	42,77
<b>Vs (cm³)</b>	176,09	7,65	23,31	14,07	4,60
<b>γs (g/cm³)</b>	2,67	4,66	3,03	2,87	3,73
<b>Vv (cm³)</b>	25,17	2,29	9,43	4,15	7,33
<b>Vt (cm³)</b>	201,26	9,94	32,74	18,22	11,93
<b>γd (g/cm³)</b>	2,33	3,59	2,16	2,22	1,44
<b>n (%)</b>	12,51	23,04	28,80	22,78	61,46
<b>Gs</b>	0,27	0,47	0,31	0,29	0,38
<b>γsat (g/cm³)</b>	2,46	3,82	2,45	2,44	2,05
<b>Peso Esp (g/cm³)</b>	2,67	4,66	3,03	2,87	3,73
<b>Peso Esp (kN/m³)</b>	26,14	45,70	29,76	28,15	36,58

Na comparação dos provetes das amostras de material arenítico, conclui-se que o peso específico médio para Cy foi de 3,21 g/cm³ e para o arenito C? foi de 3,665 g/cm³, sendo os valores de porosidade 38% e 17,78%, respectivamente.

Como complemento à análise das propriedades índice e para futura correlação geral, foram feitas medições de valores de resalto para as unidades Cy, C0, C1, C6 e C?. Os valores médios de resalto do calcário margoso, C0, são de 48,97, por outro lado, os arenitos têm valores médios de

ressalto muito próximos. As unidades margosas apresentam valores muito distintos de ressalto, sendo as margas C1 as que têm menor valor, 32,65 (Quadro 4.14).

Quadro 4.14: Resumo dos valores de ressalto, R, do Martelo de Schmidt.

Litologia	Id	Nº de Medições	Valor de R			
			Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
Arenito	Cy	100	37	47	28	4,19
Calcário Margoso	C0	180	48,97	58	28	6,523
Margas	C1	20	32,65	40	24	4,487
Calcário	C6	80	38	52	20	5,683
Arenitos	C?	100	36,44	40	22	2,804

Recorrendo à utilização do ábaco (ver fig. 3.9), que estima os valores de resistência à compressão uniaxial relativamente aos valores de ressalto e do peso específico das rochas, determinou-se para os arenitos, Cy e C? médias de 145MPa e valores superiores a 150MPa, respectivamente. Para C? o valor mínimo de 75MPa, considerando o peso específico de 26,14kN/m³.

Para uma análise de regressão das propriedades medidas da rocha foi feito um quadro que representa as médias, as máximas, as mínimas e os desvios padrões das unidades litológicas (arenitos e calcário margoso) para cada ensaio realizado: peso volúmico seco, peso volúmico saturado, porosidade, teor de água saturado, valor de ressalto, resistência à compressão uniaxial estimada (Quadro 4.15 e 4.16).

Quadro 4.15: Resumo estatístico das propriedades índice das bancadas Cy, C0 e C?.

Unidade Litológica	$\gamma_d$ (kN/m³)				$\gamma_{sat}$ (kN/m³)				n (%)				$\omega$ (%)			
	M	Med	m	DP	M	Med	m	DP	M	Med	m	DP	M	Med	m	DP
Cy	21,74	19,0	14,1	4,26	24,01	22,7	20,13	2,23	61,46	37,68	22,78	20,81	42,77	22,13	10,28	17,94
C0	29,66	27,05	22,5	4	30,3	27,68	22,98	4,08	7,74	6,34	4,83	1,46	2,62	2,29	2,11	0,29
C?	47,92	35,32	22,87	12,52	52,88	38,14	24,10	14,4	50,58	28,71	12,51	19,66	10,36	7,38	5,36	2,63

Legenda:  
M – máximo  
Med – média  
m – mínimo  
DP – desvio padrão  
 $\gamma_d$  – peso volúmico seco  
 $\gamma_{sat}$  – peso volúmico saturado  
n – porosidade  
 $\omega$  – teor de água saturado

Quadro 4.16: Resumo estatístico do valor de ressalto e compressão uniaxial estimada das bancadas C?, C0 e Cy.

Unidade Litológica	R				UCS, est (MPa)		
	M	Med	m	DP	M	Med	m
Cy	47	37	28	4,19	180	145	65
C0	58	48,97	28	6,523	340	169	57
C?	40	36,44	22	2,804	-	-	65

No entanto, em laboratório foi possível determinar valores de compressão uniaxial, resistência à tracção e resistência ao corte directo (Anexo II e Quadro 4.17) para as unidades margosas mais antigas, Cz.

Quadro 4.17: Resumo estatístico do valor de ressalto, R, compressão uniaxial e Resistência à Tracção

Unidade Litológica	R				UCS (MPa)				Res. Tracção (MPa)			
	M	Med	m	DP	M	Med	m	DP	M	Med	m	DP
Cz	50	43,05	29	3,683	2,694	1,396	0,622	5,032	0,592	0,336	0,009	0,481

Da análise de histograma, que relaciona a resistência à compressão uniaxial com a frequência com que uma resistência ocorre (fig. 4.19), observa-se alguma dispersão com uma gama de valores de 0,8MPa até 2,8MPa, havendo uma maior concentração nos valores 0,8MPa a 2MPa.

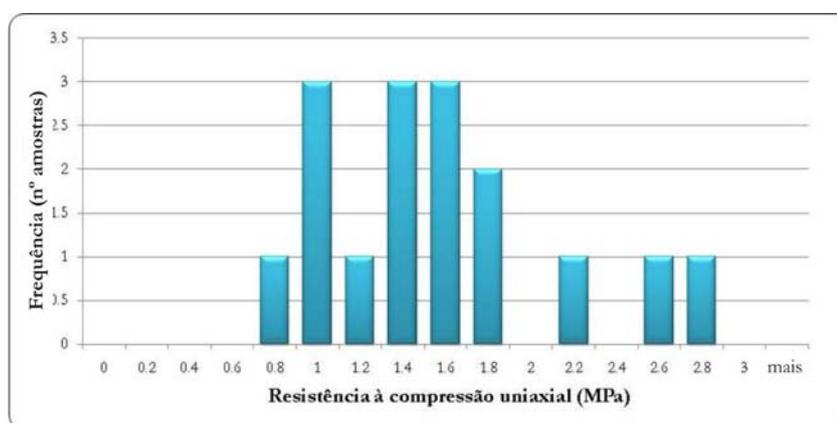


Fig. 4.19: Histograma que relaciona a resistência à compressão uniaxial com a frequência de amostras margosas saturadas.

No histograma que relaciona a resistência à tracção com a frequência em que ocorre determinada resistência (fig. 4.20) observa-se uma gama de valores de 0,1MPa a 0,6MPa, considerando todos os valores obtidos. No entanto, ao longo do processo de saturação, algumas das amostras fracturaram evidenciando um valor à tracção muito inferior ao expectável. Ao retirar estes valores anómalos foi possível constatar que os valores de tracção estão compreendidos entre 0,2 e 0,6MPa.

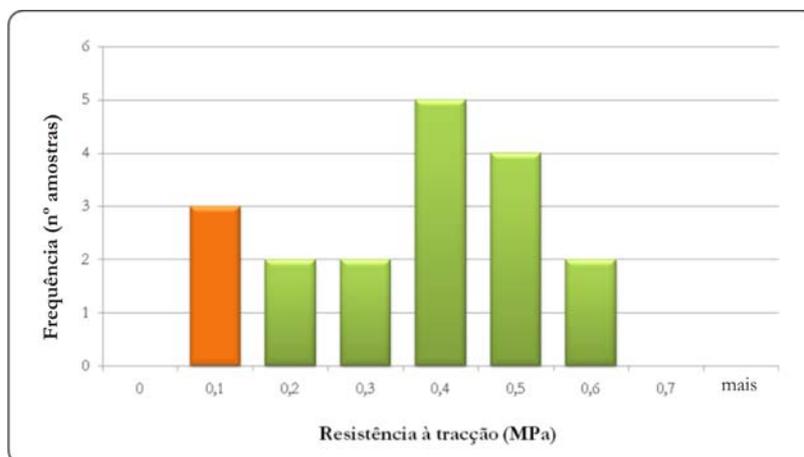


Fig. 4.20: Histograma que relaciona a resistência à tracção indirecta com a frequência de amostras margosas saturadas. Barra laranja, valores anómalos.

Do ensaio de corte directo verificou-se que a carga transmitida tende a alcançar um ponto – o pico – tornando-se constante de seguida, ou aproximadamente constante. Ou seja, alcança um ponto de capacidade de carga, diminuindo para valores residuais. No pico do ensaio, ocorre uma superfície de fractura que é fundamental para a compreensão do desenvolvimento progressivo de um movimento de massa. O gráfico de corte directo *versus* a tensão normal é adequadamente bem representada por uma linha que intercepta  $c$  (coesão), e o ângulo de atrito  $\phi$ , descrevendo deste modo, a tensão total (Bromhead, 1986) (fig. 4.21). O ângulo de atrito interno é igual a  $40,78^\circ$ .

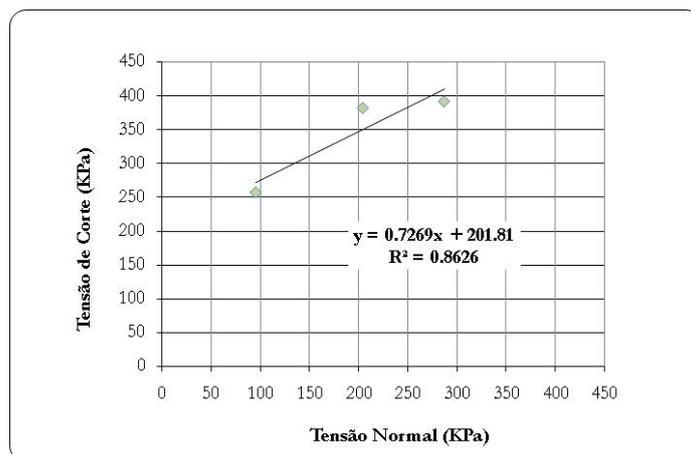


Fig. 4.21: Relação entre a tensão normal e a tensão de corte para as amostras Cz saturadas.

#### IV.2.3 MORFOLOGIA DO SISTEMA E A SUA EVOLUÇÃO

A base da arriba encontra-se coberta por material (blocos e areia) provenientes da erosão da arriba e do transporte pelo mar (fig. 4.22). Essa acumulação de blocos, de calcário e arenitos, estendem-se com uma largura que varia entre 3,6m e 14,2m em relação à base da arriba, sendo relativamente homométrico.

Identifica-se uma maior acumulação de material detrítico a N, junto à praia da Malhadinha. Este material pode estar mais ou menos coberto de areias de praia.



Fig. 4.22: Detalhe do depósito de blocos na base da arriba.

Dos blocos, fez-se uma selecção visual quanto à dimensão, volume e geometria, aplicado aos que apresentavam as dimensões mínima, máxima e média significativas. Daí, resultam um

volume máximo aproximado de  $1,9\text{m}^3$  e um volume mínimo de  $0,004\text{m}^3$  com grau de rolamento muito variável, abrangendo quer blocos rolados quer angulosos (fig. 4.23), de acordo com a escala de Wentworth.



Fig.4.23: Detalhe da acumulação de blocos.

Sobre C0, no centro e sul do sector, a acumulação de material detrítico (blocos e areias) é bastante inferior ao que se observa a N. Este depósito, para além de dimensões mais reduzidas e ser mais heterométrico, apresenta um grau de rolamento diferente (fig. 4.22, 4.23 e 4.24).



Fig. 4.24: Detalhe do depósito de blocos na base da arriba, sobre C0 e nas proximidades do escoamento da nascente.

No limite S do sistema, observam-se, para além da acumulação de areia, os blocos de calcário aproximadamente paralelepípedicos, desagregados na plataforma rochosa aproveitando as duas família de fracturas atrás mencionadas ( $N344^\circ$  e  $N90^\circ$ ).

A arriba apresenta diferentes perfis topográficos (Perfil Norte, Centro, Sul e Ribeira, ver fig. 4.25) sendo, regra geral, rectilíneos, com influências de pequenas escorrências de água, uniformes, com declives oscilando o  $49^\circ$  e o  $48^\circ$ , destacando-se o perfil “Ribeira” que tem um traçado composto, onde a ocorrência de uma nascente (junto ao topo) provocou um maior recuo do sector cimeiro da arriba, suavizando o declive.

Porém, em pormenor o perfil “Norte” é perturbado por troços com maior declive, praticamente 90°, justificado com a observação de campo onde se verifica a saliência das unidades de calcário devido à erosão das intercalações das margas. Outros declives também são evidentes em campo, devido à presença de um nível freático à superfície, com escorrência de água permanente, que por erosão hídrica, contribui para salientar o afloramento das unidades mais resistentes. As outras pequenas variações de declive resultam de processos subaéreos de escorrência de material mais fino.

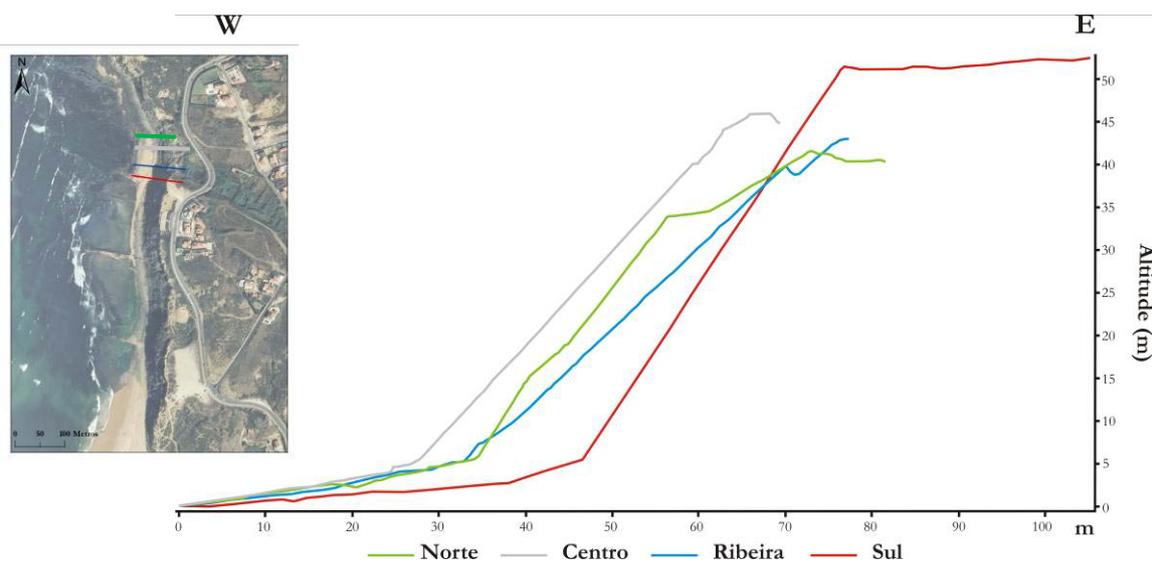


Fig. 4.25: Diferentes perfis transversais à linha de costa e identificação dos perfis. Ortofotomapa 2007. Fonte: Instituto Geográfico Português.

Em campo observou-se que esta zona é influenciada, fundamentalmente, pela existência de uma ribeira perene coberta por vegetação da classe *Adiantetea* (Neto, *et al.* (2007)) (fig. 4.26). Em pormenor, o perfil “Ribeira” é subdividido em dois: (i) junto à base da arriba, o declive é menor e (ii) na cimeira o declive maior.



Fig. 4.26: Detalhe longitudinal do perfil “Ribeira”.

O perfil “Sul”, tem um declive geral de 48° e um topo de 52m aproximadamente. Este subsector é o mais recuado em relação aos restantes com uma maior extensão (em direcção ao mar) da camada C0.

Ao longo da face da arriba, nas proximidades do perfil Sul, observam-se leitos transversais superficiais de material esbranquiçado indicando alteração e transporte de material fino provenientes de escorrência de águas pluviais em períodos de precipitação intensa. Nesta área, destaca-se ainda uma nascente perene à superfície.

A dinâmica da arriba foi caracterizada e quantificada em toda a sua extensão. Para além da caracterização atrás referida da acumulação de blocos na base da arriba. Identificaram-se 12 movimentos de vertente com volumes significativos, superior a 50m<sup>3</sup>, tendo sido estudados em pormenor, apenas três dos depósitos resultantes dos movimentos que originaram depósitos na base da arriba (Quadro 4.18). Os restantes depósitos, localizados sobre bancadas salientes, eram de difícil acesso.

Quadro 4.18: Resumo das características dos depósitos resultantes de movimentos de massa.

ID	Processo	Litologia	Nº Nas.	α (°)	L (m)	a (m)	C (m)	b (m)	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	AT (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )
FG21-1	Misto	Calcário e material argiloso	1	41	1,20	4,20	1,16	0,78	0,90	3,3	1,7	1,9
FG21-2	Misto	Calcário e material argiloso	-	41	2,30	10	5,60	1,5	1,7	8,3	7,5	42,3
FG21-3	Misto	Calcário e material argiloso	-	35	3	9,30	5,80	1,7	2,5	6,8	8,0	46,4

NºNas. – número de nascentes existentes na estação do inventário  
Misto – erosão hídrica e queda de blocos  
C – comprimento  
a – hipotenusa  
L – largura  
α - declive  
b – altura do triângulo  
a – cat. Adjacente do triângulo 1 e 2  
AT – área total dos dois triângulos  
V – volume aproximado

Para além destes movimentos, foi possível identificar uma evolução de topo e sector cimeiro da arriba por movimentos de pequena magnitude mas elevada frequência. Muitos destes acumulam-se sobre as unidades mais resistentes, salientes, na arriba.

Determinou-se um volume máximo de 46,41m<sup>3</sup> de acumulação de material em 17,4m<sup>2</sup> de área ocupada, tendo ocorrido no total 90,58m<sup>3</sup> de material na base da arriba. A acumulação de blocos e material fino destes três movimentos é indicativa de um movimento de queda de blocos e contemporaneamente e/ou posteriormente de movimento de material mais fino.

Não foi possível identificar todas as cicatrizes de movimento, tendo-se observado apenas duas cicatrizes na zona cimeira da arriba, mas através da colonização biológica sobre os depósitos é possível inferir que se tratam de movimentos não recentes.

IV.2.4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Na praia da Malhadinha, as areias grosseiras indicam um tipo específico de ondulação que acarreta uma maior energia de transporte de sedimentos, fundamentado pelo declive apresentado na praia nos períodos de recolha das amostras, assim como a permeabilidade dos sedimentos que favorecem a infiltração das águas do mar (Suguio, 2003; Prothero & Schwab, 2004). Não esquecendo a existência de acumulação de blocos que também reduzem a energia da acção das ondas e, conseqüentemente, da erosão na base da arriba. No entanto, através do depósito de vertente truncado e do grau de rolamento dos materiais, admite-se que as ondas conseguem alcançar o sopé da arriba, não tendo, por norma, energia suficiente para a remoção do material.

As areias presentes sobre a camada C0 indicam, que há deposição de sedimentos por parte da ondulação e/ou por parte do vento, que transporta material da própria praia para uma faixa superior. Mas devido à reduzida largura da praia, a areia encontra-se sempre molhada durante a maré-baixa. Deste modo, poder-se-á admitir-se que o transporte do material, para C0 se deve à ondulação. Importa salientar que a arriba encontra-se muito próxima, podendo existir algum contributo de material arenoso.

Subjacente a C0 verifica-se que a rocha branda foi escavada, indicando que a acção erosiva das ondas actua na remoção do material fino, deixando saliente C0. Tal como indica Charman *et al.* (2007), as unidades mais brandas, em especial as margas, em condições climáticas e de agitação marítima adversa são facilmente erodidas. Desta forma, a camada mais resistente e saliente constitui um travão à acção das ondas para as unidades superiores (fig. 4.27).

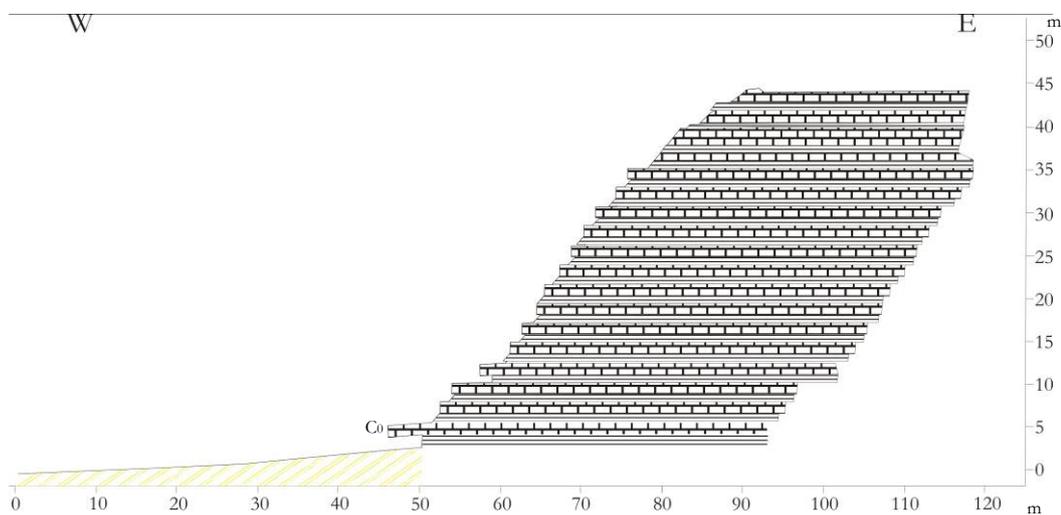


Fig.4.27: Perfil esquemático transversal à linha de costa do sector.

Da análise efectuada às unidades subjacentes a C0, resultaram valores de densidade e porosidade superiores aos valores previstos por Rocha (1981) – 2-2,6 g/cm<sup>3</sup> e 5-25% (fig. 4.28). Admite-se assim que estes arenitos apresentam uma composição diferente dos de Rocha.

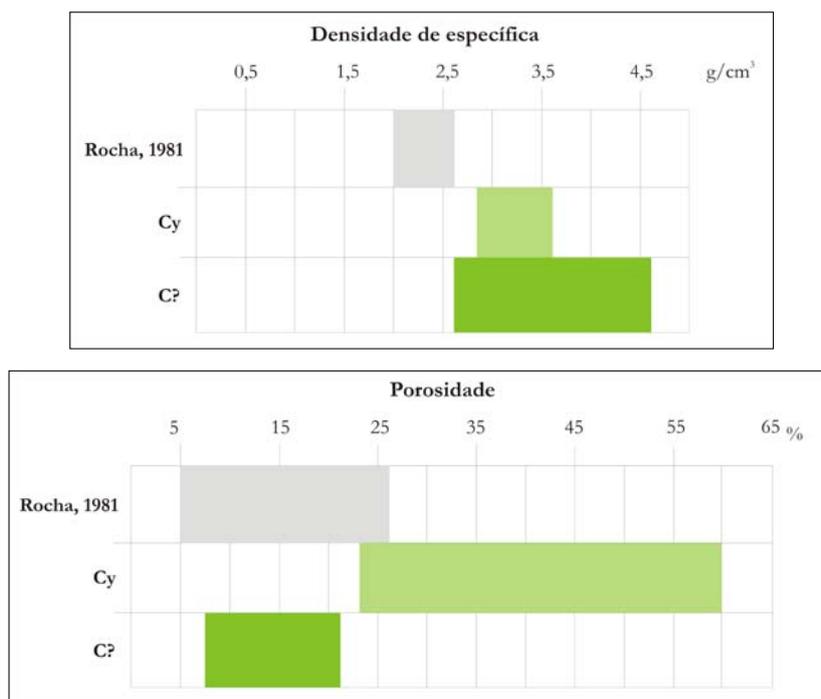


Fig. 4.28: Valores de densidade específica e de porosidade obtidos para os arenitos (Cy e C?) e valores típicos para calcários puros apresentados por Farnen (1968) in Rocha (1981).

Da figura anterior, pode admitir-se que quanto maior a porosidade menor será o seu peso específico.

Dos valores estimados de compressão uniaxial verifica-se que são valores indicativos de rochas muito resistentes para Cy e resistentes a muito resistentes para C? (Hoek & Brown, 1997; Marinos & Hoek, 2000a; Hoek, 2001).

Em suma, relacionando de forma generalista as medições (fig. 4.29) da bancada Cy pode considerar-se que há uma relação inversa entre o peso volúmico seco e a porosidade relativamente à resistência.

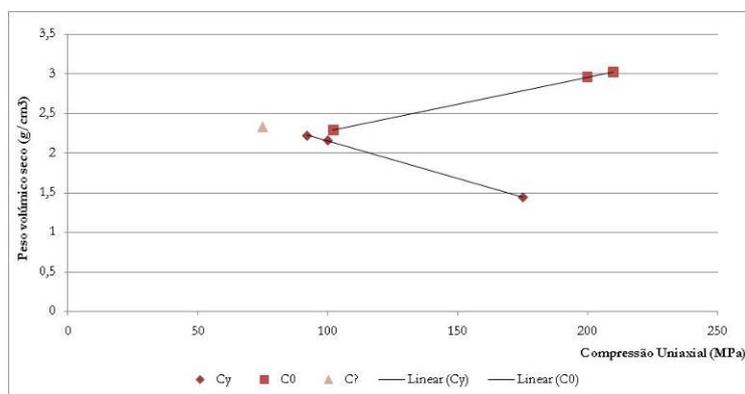


Fig. 4.29: Gráfico que relaciona o peso volúmico seco das rochas com a resistência à compressão uniaxial.

No entanto, para os valores obtidos para o calcário apurou-se que quanto menor o peso volúmico seco (e menor porosidade) menor seria a resistência.

Da análise e das relações existentes entre o valor de ressalto medido pelo martelo de Schmidt e as propriedades das rochas infere-se que quanto maior for o valor de ressalto maior será o valor de compressão uniaxial estimado, mas quanto menor for o ressalto maiores serão os valores de porosidade, teor em água e peso volúmicos.

Relativamente a Cz e da análise do seu histograma, que relaciona a resistência à compressão uniaxial com a frequência, os valores obtidos são indicativos de rocha extremamente branda a muito branda (Rocha, 1981).

De acordo com a dinâmica da arriba, são as unidades litológicas salientes que a partir da rede de descontinuidades se vão fracturar e, por desabamento, acabam por cair na base da arriba, ou sobre outras unidades resistentes. Por outro lado, o escoamento superficial e sub-superficial de águas transportam material mais fino que se acumula sobre os blocos caídos. É na parte cimeira da arriba que se podem encontrar maior número de depósitos ligados à acção de erosão hídrica, que afectou as unidades litológicas mais brandas. Estas bancadas, com maior susceptibilidade à erosão em períodos de precipitação, tendem a desencadear pequenos escorregamentos de material fino. Após a acumulação deste material mais fino podem ocorrer pequenas sulcagens, provenientes de novos episódios de precipitação.

De acordo com Calé Lamas & Rodrigues-Carvalho (2006), as arribas apresentam-se moldadas de acordo com a erosão diferencial. Por norma, as camadas litológicas mais resistentes formam consolas sobre as camadas mais brandas, que com o evoluir da erosão diferencial, acabam por se destacar, desencadeando a queda de blocos de várias magnitudes. No entanto as camadas mais brandas são, sob determinadas condições, alvo para fenómenos de escorregamentos ou fluência. Porém, a arriba em estudo, sofre o mesmo tipo de erosão diferencial nas unidades margosas, expondo e destacando as camadas mais resistentes, que por aproveitamento da fracturação e da falta de sustentamento, acabam por desencadear a queda de blocos.

#### IV.2.5 CONCLUSÃO

Em função do que foi dito é possível extrair algumas conclusões sobre a dinâmica do litoral deste sistema praia-arriba.

Através da análise sedimentológica das areias de praia (feita no subcapítulo IV.2.2) é possível concluir que se trata de um sistema com elevada concentração de energia de ondas. A existência desta praia encastrada deve-se fundamentalmente à estrutura e à constituição geológica do troço costeiro. Devido à inclinação das bancadas e devido à resistência muito baixa, foi possível, pela acção erosiva das ondas a remoção das unidades mais brandas – Cz e Cy – e consequentemente, devido à falta de sustentamento, ocorrer a desagregação em blocos paralelepípedicos da camada resistente de calcário margoso – C0. Esta queda de blocos é favorecida

pelo aproveitamento da rede de fracturas, que devido à infiltração do escoamento superficial vão tendo maior abertura.

Da análise geomecânica da bancada Cz conclui-se que se trata de uma rocha branda a extremamente branda, com valores de resistência à compressão uniaxial e de tracção muito baixos. Das medições efectuadas nos calcários foi possível concluir que apresentam um valor de ressalto superior ao dos arenitos, indicando que são mais resistentes.

Os blocos de calcário de C0 acumulam-se e vão sendo trabalhados pela acção das ondas, chegando mesmo a ser removidos. Este facto é evidenciado no limite S do sector, onde a plataforma rochosa de sopé – camada C0, já se encontra desagregada e sem sustentação.

A acção das ondas é também visível (i) na acumulação/transporte de areias na própria praia e na camada C0; (ii) na remoção de alguns blocos de depósito de vertente em alguns períodos de agitação marítima mais forte; e (iii) no rolamento dos blocos e calhaus acumulados na base da arriba e sob a unidade C0.

Apesar da energia das ondas diminuir com a infiltração da água nas areias de praia, conclui-se a existência da erosão basal sob a camada C0, como se viu na figura 4.22. No entanto, esta acção já não se faz sentir com tanta regularidade, sobre C0, a erosão não é frequente na base da arriba. Apesar da infiltração da água e da redução de energia das ondas, evidenciam-se alguns pontos, onde as ondas conseguem alcançar. Esta conclusão é sustentada pelos estudos realizados feitos por Neves (2004) e Marques (2006), numa arriba a três quilómetros de Foz do Lizandro – Malhadinha.

Através dos perfis morfogenéticos realizados na arriba é possível inferir que o perfil a Norte é representativo de equilíbrio entre processos marinho e subaéreo. Nos perfis Centro, Ribeira e Sul conclui-se que os processos de erosão marinha são inferiores aos processos subaéreos.

Com base no que foi descrito e analisado da acumulação de depósitos é possível concluir que os processos dominantes são os processos subaéreos – movimentos de massa e erosão hídrica.

A acção marinha, apesar de ter uma componente fundamental para a existência da praia encastrada, também actua na evolução actual da arriba, estando visível no rolamento e posterior transporte dos materiais provenientes de processos subaéreos.

### IV.3 SISTEMA PLATAFORMA-ARRIBA

#### IV.3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

O sistema litoral Plataforma-Arriba tem uma extensão de 405m, corresponde a 63,4% de todo o troço costeiro, sendo limitado a N pela Praia da Malhadinha e a S pelo início do Sistema Praia-Arriba Sul.

A figura seguinte (fig. 4.30) representa algumas áreas deste sistema.

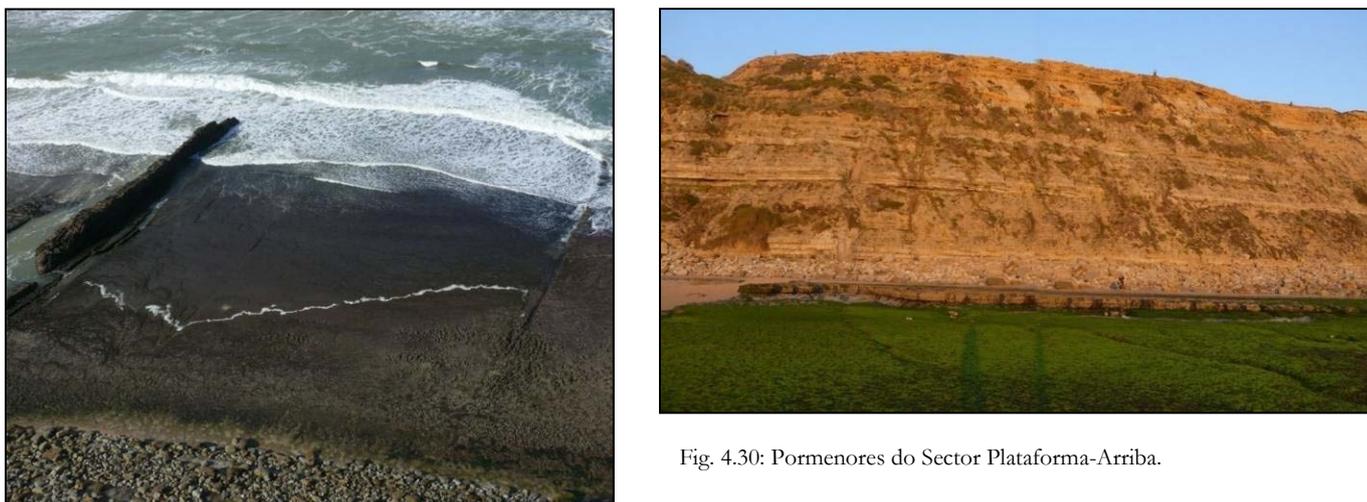


Fig. 4.30: Pormenores do Sector Plataforma-Arriba.

A plataforma rochosa é caracterizada pela sua desagregação em blocos paralelepípedicos numa extensão cerca de 40m. É cortada transversalmente por duas famílias de material ígneo (“Mata-Cães” e “Filão-Dique”) e por duas famílias de fracturas – E-W e N-S. No caso do encaixe dos filões (“Mata-Cães” e outros de menores dimensões) verifica-se o preenchimento de material detrítico recente. Observa-se ainda, na plataforma, duas micromorfologias distintas – cabeços residuais e áreas planas – sendo que as primeiras são mais dominantes na plataforma a N (fig. 4.31).

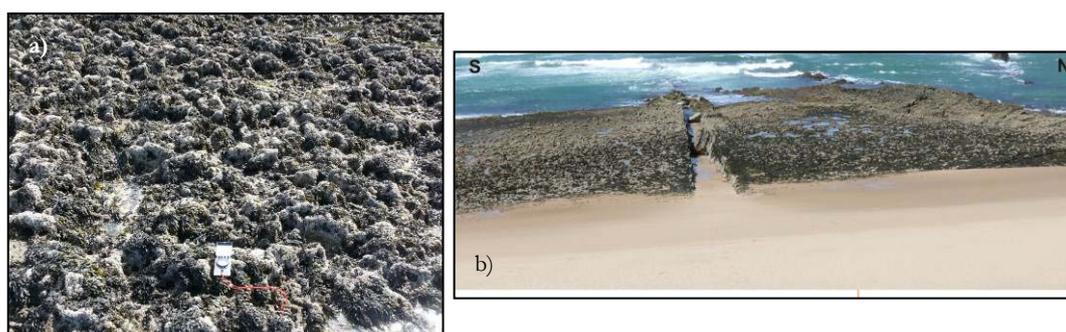


Fig. 4.31: a) detalhe da colonização biológica na plataforma rochosa de sopé, b) detalhe do encaixe do filão.

A plataforma rochosa em toda a sua extensão, dependendo do estado do mar, pode apresentar-se desprovida ou coberta de areias, de espessuras variáveis. No entanto, existe uma acumulação de detritos sempre presente na base da arriba.

Da análise de campo, aquando da existência de areias, observou-se um aumento de acumulação na plataforma de arriba de N para S, onde os acidentes morfológicos vão sendo menores.

Relativamente à acumulação de blocos e calhaus na base da arriba verifica-se oscilações ao longo de todo o sector havendo, no entanto, uma tendência a aumentar para S.

A arriba tem exposição a W (favorável à orientação da ondulação predominante) e topo entre 45 e 54,5m. Por seu lado, salienta-se que o declive, diminui progressivamente para S (Quadro 4.19).

Quadro 4.19: Variação das características da arriba neste sistema

	A	B	C
Atitude (m)	54,5	51	45
Declive	42°	41°	35°
Exposição	W	W	W

#### IV.3.2 LITOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS

O Sistema Plataforma-Arriba é caracterizado pelo afloramento das unidades C0 a C16, sendo o primeiro característico da plataforma rochosa, com inclinação suave para S. No entanto, no limite S do sistema, a plataforma é caracterizada pelo afloramento das unidades C6 e C8. Observa-se também uma variação lateral de espessuras das camadas, diminuindo para Sul.

#### IV.3.3 MORFOLOGIA DO SISTEMA E SUA EVOLUÇÃO

Para esta análise, foram consideradas três áreas delimitadas de acordo com a presença do filão sobrelevado e da mudança litológica da plataforma rochosa de sopé (fig. 4.32).

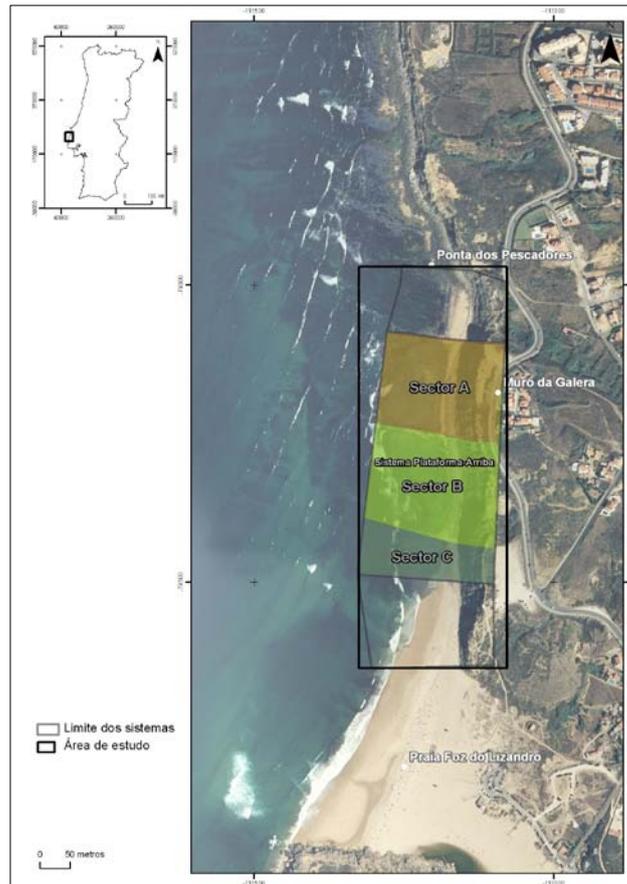


Fig. 4.32: Sistema plataforma-arriba dividido em áreas. Fonte: Instituto Geográfico Português.

#### ÁREA A

A N do subsector na faixa entre-marés inferior, a plataforma rochosa de sopé apresenta-se com uma morfologia irregular, de blocos isolados. Tal como já foi referido, a falta de sustentação litológica da bancada e o aproveitamento da rede de discontinuidades, permitiu o desagregamento destes blocos. Esta faixa de degradação tem uma largura máxima de 59,51m e uma largura mínima de 23,90m (a N do Sistema), estendendo-se em todo sector (fig. 4.2 e fig. 4.33).



Fig. 4.33: Detalhe da plataforma rochosa de sopé dos blocos desagregados.

Relativamente à micromorfologia, já referida (fig. 4.2 e fig. 4.34): a faixa que compreende os cabeços tem uma área de 2089,6m<sup>2</sup>. A faixa aplanada, que se situa principalmente numa faixa entre marés-inferior, tem uma área de 449,5m<sup>2</sup>.



Fig. 4.34: Pormenor das micromorfologias da plataforma rochosa de sopé. 1) área plana, 2) área dos cabeços residuais.

Em períodos de Inverno, de agitação marinha intensa, a faixa aplanada pode estar coberta por areias não atingindo normalmente 0,50m de espessura. Na zona superior a esta, observa-se ao longo de todo o ano acumulação de areia de praia, com espessura inferior a um metro, excepto na área de instalação do filão, onde ocorrem acumulações de espessura superior.

Segundo Saldanha (1995) e Neves (2004) a cobertura biológica na plataforma, apesar de ser maior na Primavera, encontra-se distribuída, em faixas de exposição ao ar distintas: (i) na faixa supra-litoral observam-se essencialmente algas vermelhas, verdes, algas oportunistas e algumas cracas; (ii) na faixa entre-marés, nos cabeços residuais a colonização é feita principalmente por cracas e algas e nas zonas planas a colonização é feita por algas calcárias e mexilhões; (iii) na faixa infra-litoral o zonamento é feito cracas, lapas, mexilhões, algas e poliquetas.

A plataforma, como já foi referido, é cortada transversalmente por dois tipos de filão: um talhado em doleritos, mais resistente que o material envolvente, tornando-o saliente na plataforma e outro, de material magmático alterado, mais brando que as bancadas de calcário margoso que constituem a plataforma rochosa de sopé, origina nesta depressões alongadas (exemplo filão “Mata-Cães”) (fig. 4.35).



Fig. 4.35: Pormenor da plataforma cortada transversalmente por dois filões de material diferente.

Estas depressões alongadas encontram-se parcialmente preenchidas por blocos rolados e por material arenoso com diferentes espessuras (fig. 4.36).



Fig. 4.36: Pormenor do preenchimento do encaixe do filão.

Porém, o filão-dique, de material dolerítico nem sempre tem uma morfologia homogênea. Existem áreas em que o filão não se encontra em saliência, tendo sido erodido, devido essencialmente à existência de maior densidade de falhas no local. Na vertente a N do filão-dique, a erosão basal pode alcançar os 3,5m de profundidade, enquanto na vertente S, as sapas ultrapassam os 4 m de profundidade e estão cobertas por areias e água (fig. 4.37).

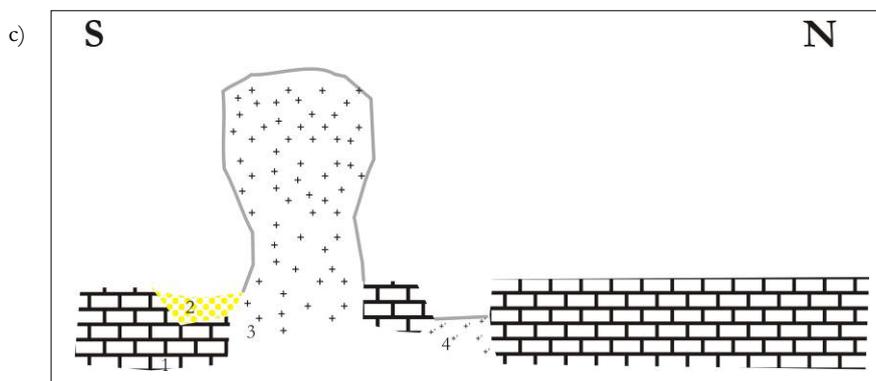


Fig. 4.37: Pormenor do filão sobreelevado. a) área Norte, b) área Sul e c) esboço esquemático longitudinal do filão sobreelevado. 1 – plataforma rochosa de sopé, calcário margoso; 2- acumulação de areia de praia; 3 – filão de dolerito; 4 – filão alterado.

A colonização, no filão, é distinta consoante a sua exposição. A S onde a exposição solar é maior, o filão apresenta, para além da colonização de algas verdes e castanhas, colonização de poliquetas (por norma só se instalam em áreas húmidas). A N, onde a exposição solar é mais reduzida, tornando a área mais húmida, é constituída por mexilhões, poliquetas, cracas e pelas algas verdes e castanhas.

Junto à arriba e no lado exposto a S, o filão apresenta uma micromorfologia, caracterizada pela existência de buracos ou cavidades na superfície rochosa de dimensões muito reduzidas – “alvéolos de meteorização” (*honeycombs weathering*) (fig. 4.38), cujo desenvolvimento está ligado à cristalização do sal promovendo quer o ataque químico selectivo quer a meteorização física (Bird, 2008; Huggett, 2002). Segundo Sunamura (1992), os favos de mel, desenvolvem-se horizontalmente, verticalmente ou mesmo em superfícies inclinadas, na zona de spray, acima do nível superior das águas. A ocorrência desta morfologia está bastante ligada ao tipo de rocha, surgindo apenas num leque restrito de propriedades físico-químicas. O mesmo autor lista uma série de tipos de rocha onde aparecem os alvéolos de meteorização e *tafonis* (cavidades de dimensões superiores) não tendo dado indicações deste tipo de morfologia em dolerito.



Fig.4.38: Pormenor dos favos de mel.

No âmbito do projecto BISHOP, (Bioerosão e bioprotecção nas plataforma litorais do Algarve e Estremadura (Costa Sul e Ocidental de Portugal, PTDC/CTTE-GEX/70448/2006), instalaram-se duas áreas de monitorização para a determinação de taxas de rebaixamento na faixa entre-marés inferior da plataforma rochosa de sopé – M1A-M e M1B-S (fig. 4.39), a uma cota de -0,502 e 0,349m e com valores de ressalto 57 e 49, respectivamente. Estas áreas, normalmente, encontram-se cobertas biologicamente mas que, devido ao objectivo do projecto BISHOP, foram deixadas sem essa cobertura, favorecendo a abrasão marinha.

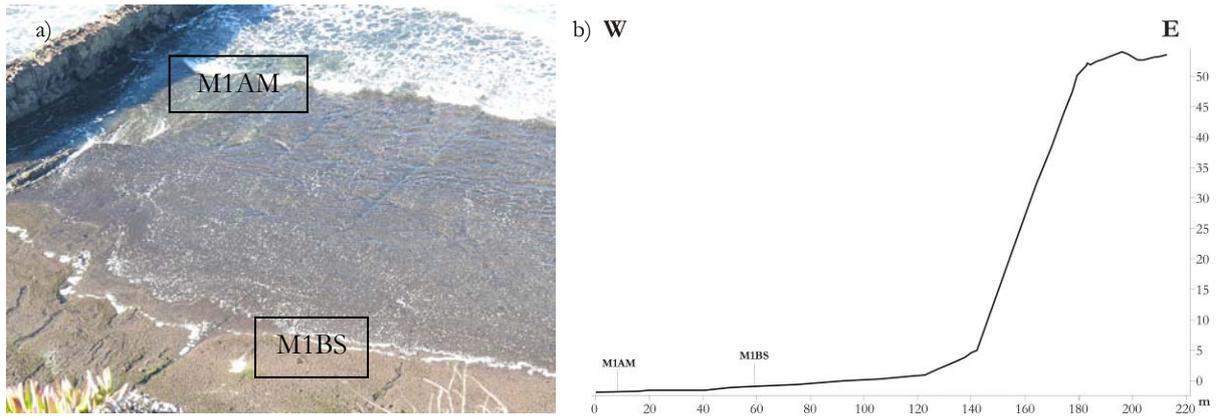


Fig. 4.39: a) Identificação das áreas de monitorização, b) perfil transversal à linha de costa com identificação e localização das áreas de monitorização.

Para o presente trabalho foi feito a relação entre o primeiro levantamento de monitorização (2 de Setembro de 2008) e o levantamento da sexta data (26 de Maio de 2009) que corresponde a 266 dias de diferença. Deste modo, obtiveram-se valores de taxa de rebaixamento anual diferente para cada área: para M1A-M o valor médio foi de 0,399mm/ano, com um máximo de 4,149mm/ano, enquanto para M1B-S a taxa de rebaixamento médio foi de 0,202mm/ano (Quadro 4.20, fig. 4.40 e 4.41), com uma diferença entre as duas áreas de 0,197mm/ano.

Quadro 4.20: Resumo das taxas de rebaixamento

TR (mm/ano)	M1A-M	M1B-S
<b>Max</b>	4,149	2,362
<b>Med</b>	0,399	0,202
<b>Min</b>	-1,747	-1,347
<b>Desvio Padrão</b>	0,374	0,165

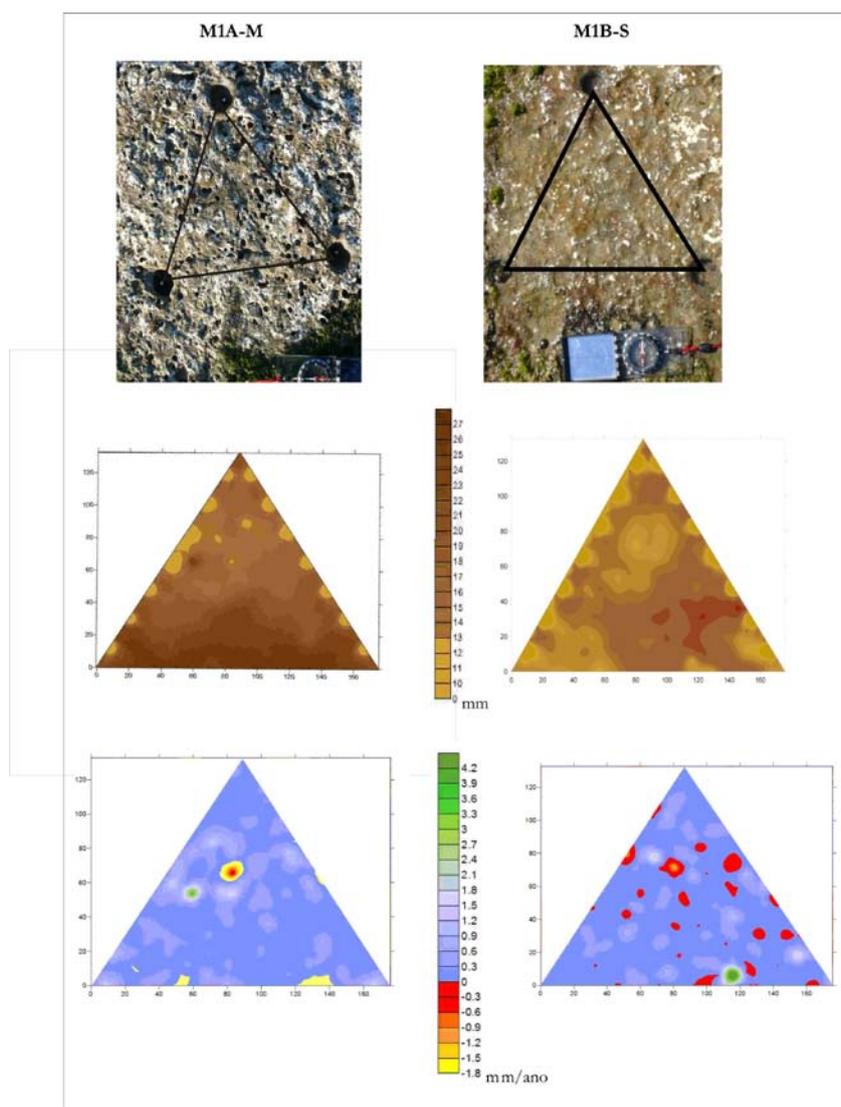


Fig. 4.40: Modelos digitais de terreno (realizados em *Surfer*) da topografia e taxas de rebaixamento das áreas de monitorização de TMEM.

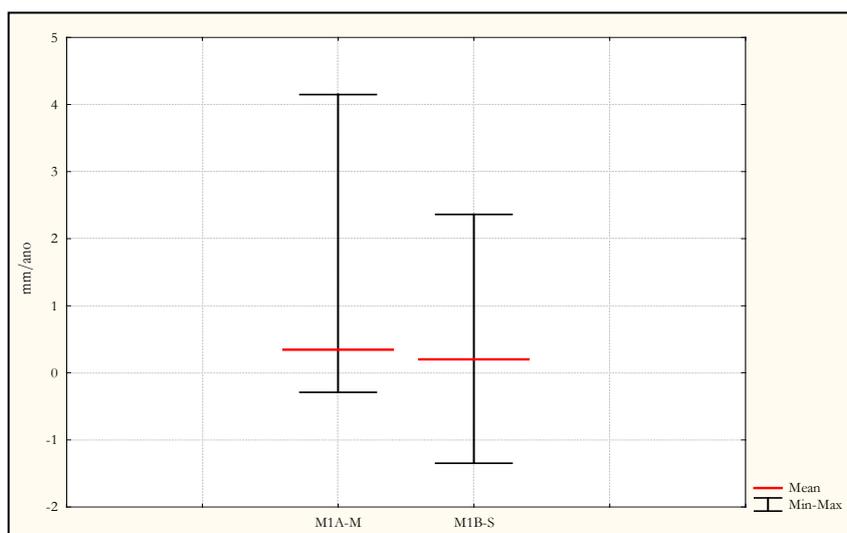


Fig. 4.41 Taxas anuais de rebaixamento da plataforma rochosa de sopé, relativas ao período de Setembro 2008 – Maio de 2009.

Ao longo do período de monitorização verificou-se que nos meses de Inverno (Novembro 2008, Dezembro 2008, Janeiro 2009 e Fevereiro 2009) ocorreram as temperaturas mais baixas com maiores precipitações e nos restantes meses, em especial Maio de 2009, ocorreram as temperaturas mais elevadas (Quadro 4.21 e fig. 4.42). É nos meses de Inverno que a agitação marítima é mais elevada com ocorrência de maior precipitação e com temperaturas médias mais baixas. Nos meses de Verão, ocorre precisamente o contrário, a agitação marítima é baixa, há um aumento da temperatura e uma diminuição na precipitação.

Quadro 4.21: Valores climáticos mensais relativo ao período de Setembro 2008 a Maio de 2009. Fonte: Instituto de Meteorologia e Geofísico de Portugal. Estação Cabo da Roca.

	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)
<b>Set-08</b>	30	14,3	22,15
<b>Out-08</b>	27,2	10,3	18,75
<b>Nov-08</b>	20,8	5,4	13,1
<b>Dez-08</b>	17,8	5,4	11,6
<b>Jan-09</b>	16,8	1,3	9,05
<b>Fev-09</b>	20,8	6,1	13,45
<b>Mar-09</b>	26,5	8,7	17,6
<b>Abr-09</b>	27,2	7,9	17,55
<b>Mai-09</b>	33,7	11,4	22,55

Legenda: Tmed – temperatura média  
Tmax – temperatura máxima  
Tmin – temperatura mínima

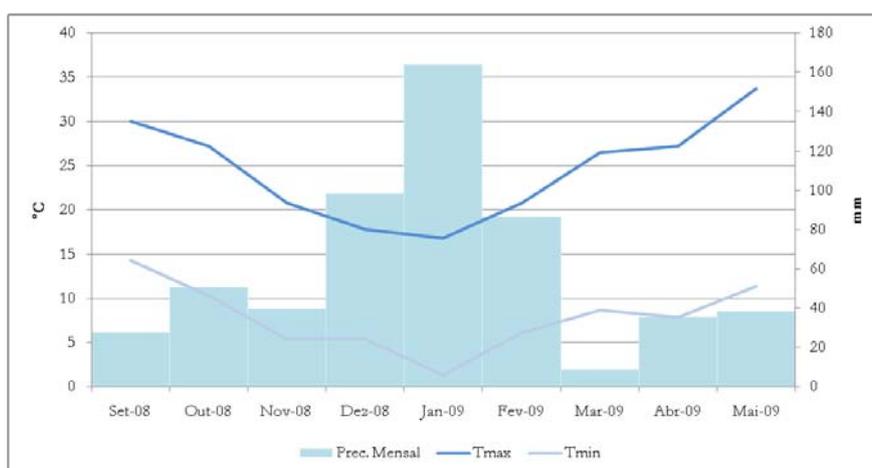


Fig. 4.42: Temperaturas máximas e mínimas e precipitações mensais para o período relativo a Setembro de 2008 a Maio de 2009. Fonte: Instituto de Meteorologia e Geofísico de Portugal. Estação Cabo da Roca.

Foi feita uma análise quanto ao teor de carbonatos e quanto à composição da plataforma rochosa de sopé correspondente às áreas de monitorização de rebaixamento. Determinou-se um teor médio de carbonatos de 70% da amostra com 30% de areias e de material fino (fig. 4.43).

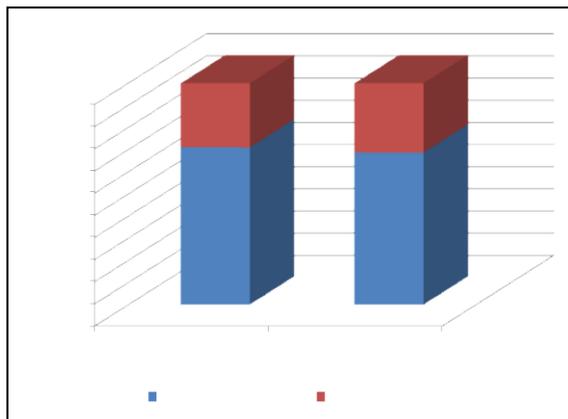


Fig. 4.43: Percentagens de teor em carbonato e composição do calcário margoso, C0.

De acordo com o estudo realizado por Stephenson & Kirk (2000), realizou-se uma análise ao estado do mar (fig. 4.44) com base nos dados disponibilizados pelo Instituto Hidrográfico na bóia ondógrafa de Sines, para o período de medições considerado, entre Setembro de 2008 e Maio de 2009. Nos meses de Inverno registaram-se valores de altura significativa superior a cinco metros, sendo que nos meses de Janeiro e Fevereiro, a altura máxima alcançada foi superior a oito metros, tendo-se observado uma altura máxima superior a 12 metros a 26 de Janeiro de 2009.

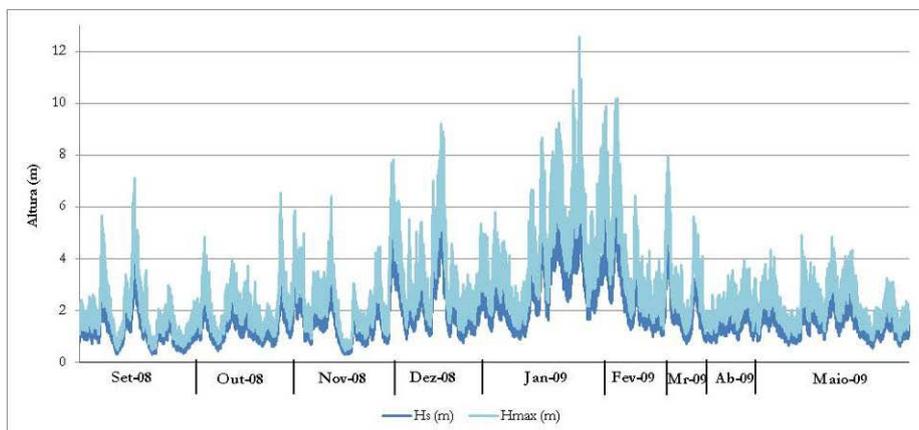


Fig. 4.44: Altura significativa das ondas e altura máxima em Sines, entre 1 de Setembro de 2008 e 31 de Maio de 2009. Fonte: Instituto Hidrográfico.

Nos meses de Abril de 2009 e de Maio de 2009 a agitação marítima foi bastante inferior ao que se sucedeu no Inverno, não ultrapassando uma altura significativa de três metros. Nos meses de Inverno observaram-se 2,4% de altura de ondas com mais de cinco metros, 19,66% de ondas com alturas significativas superiores a três metros e com 68,06% de ondas com alturas superiores a um metro e inferior a três metros. Enquanto, nos meses de Setembro, Outubro de 2008, Abril e Maio de 2009, observaram-se uma percentagem de 1,03% de ondas com alturas superiores a três metros e 69,4% para altura de ondas inferior a três metros e superior a um metro.

Para entender até que zona da plataforma rochosa de sopé as tempestades iriam afectá-la, foi possível cruzar a informação referente à altura de ondas com os períodos de marés vivas – maré-cheia superior a três metros, acima do zero hidrográfico (fig. 4.45).

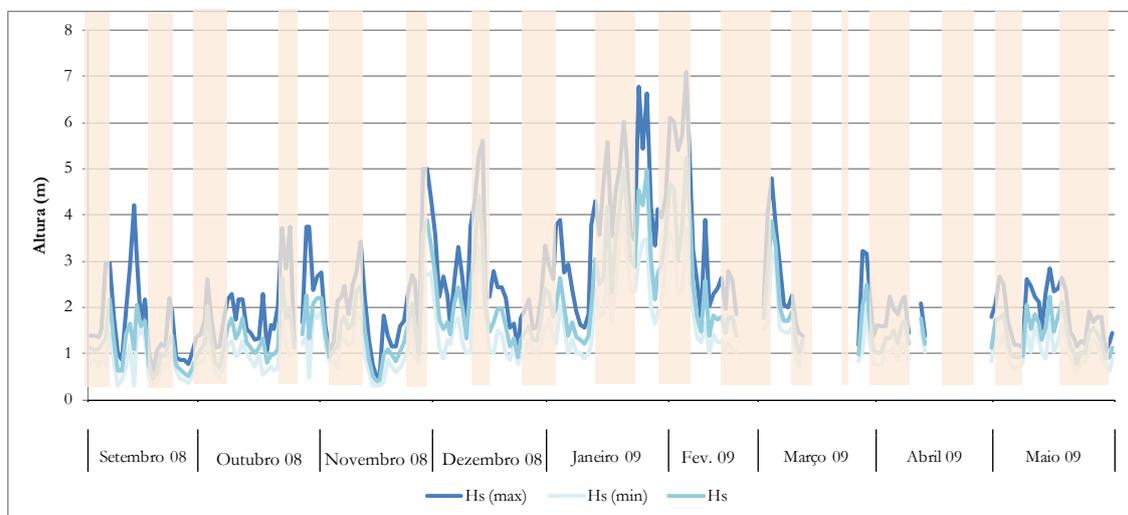


Fig.4.45: Altura diária máxima das ondas alturas significadas das ondas em Sines, e períodos de marés vivas com preamar a uma altura superior a 3,0 metros, entre 1 de Setembro de 2008 e 31 de Maio de 2009. Fonte: Instituto Hidrográfico.

Da figura anterior observa-se que em Janeiro e Fevereiro de 2009 ocorreram situações com ondulação máxima a ultrapassar os 6m em períodos de marés vivas, enquanto nos meses de Maio e Abril as situações de marés vivas coincidem com uma agitação marítima mais calma.

O sopé da arriba está coberta por uma acumulação contínua de areias que varia de espessura e de declive, atingindo um máximo de 18°. A faixa superior corresponde a uma acumulação de areias, blocos e calhaus de calcário e arenitos, rolados a sub-rolados (fig. 4.46). Esta faixa tem uma largura de acumulação que varia entre 8m e 23m, face à base da arriba, e um declive variável que pode atingir 27°. Os blocos têm dimensões que alcançam os 2,35m<sup>3</sup>, mas com uma média geral de 0,64m<sup>3</sup>.





Fig. 4.46: Detalhes da acumulação de blocos na base da arriba.

A arriba exposta a W, apresenta um perfil transversal à linha de costa rectilíneo e uniforme (fig. 4.47), com declive variável de 44° a 52°, desenvolvendo-se o alto da arriba entre 50 e 52 metros de altitude.

Ao longo de toda a face da arriba observam-se pontos de escoamentos intermitentes. Identificou-se igualmente uma nascente perene que aproveita a existência de uma fractura E-W para o seu escoamento. Este é identificado pela colonização de espécies vegetais.

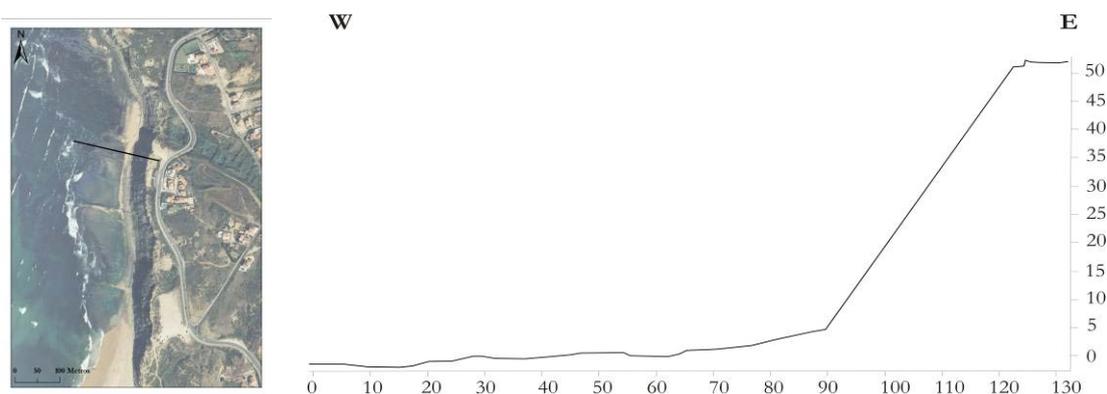


Fig. 4.47: Perfil transversal à linha de costa e identificação do local do perfil. Ortofotomapa 2007. Fonte: Instituto Geográfico Português.

O perfil E-W, realizado ao longo do filão, apresenta uma morfologia diferente, como se referiu anteriormente, mostrando as zonas onde o material do filão já foi removido (fig. 4.48).

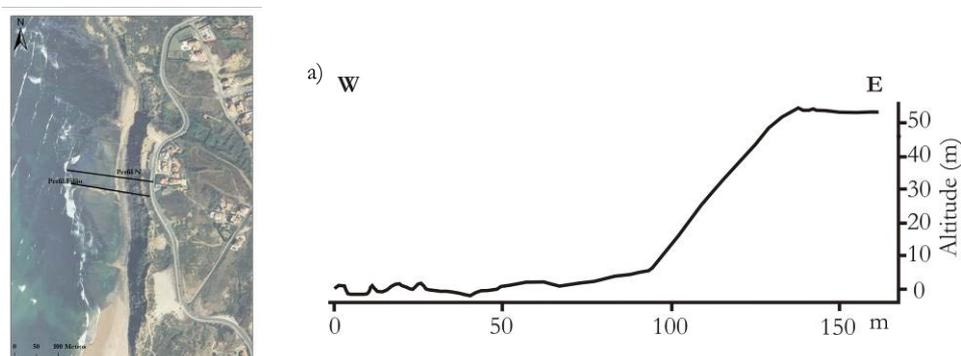


Fig. 4.48: Perfil transversal à linha de costa com a representação do filão. Identificação do local do perfil. Ortofotomapa de 2007. Fonte: Instituto Geográfico Português.

ÁREA B

A plataforma rochosa de sopé, com um declive de 1,3° para S, é influenciada pela sua fracturação – N80°, apresentando uma micromorfologia aplanada embora com algumas irregularidades.

Para a compreensão da movimentação de acumulação/erosão de depósitos de areia de praia sobre a plataforma rochosa de sopé, com base no estudo de Anfuso *et al.* (2003) foram feitos levantamentos topográficos (Janeiro, Fevereiro e Junho de 2009), em dois locais distintos, tanto em períodos de acumulação como em períodos de remoção de sedimentos arenosos (fig. 4.49).

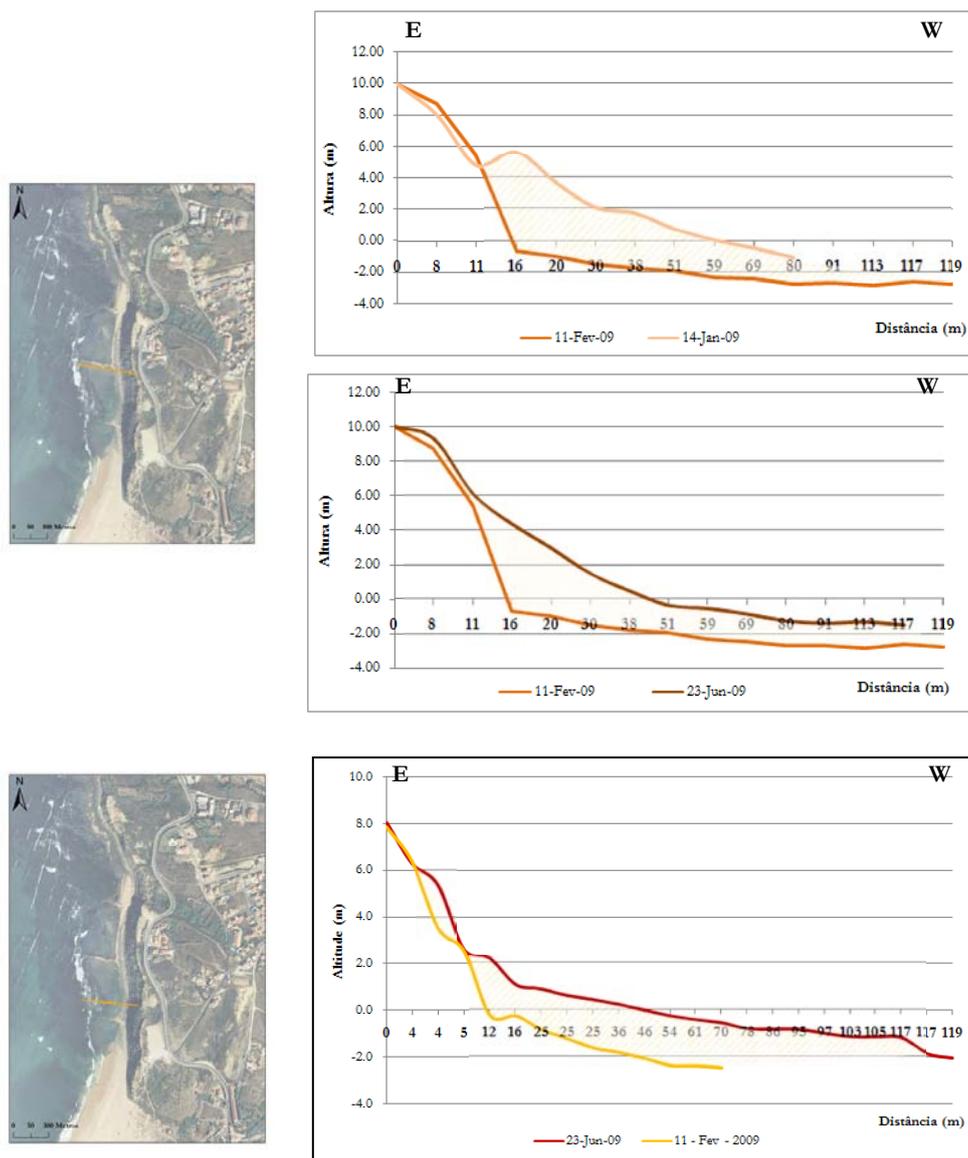


Fig. 4.49: Perfis de praia levantados em datas diferentes e relação entre eles para o conhecimento do volume de areias envolvido ao longo do tempo. Identificação do local dos perfis. Ortofotomapas 2007 – Instituto Geográfico Português.

Através da análise das previsões de marés para Cascais, observou-se que os três períodos de levantamento se enquadravam numa situação de marés vivas. Em Janeiro estava previsto, entre 10 e

19 uma maré-alta viva com valor médio de preia-mar de 3,56m. De 5 a 12 de Fevereiro, estava prevista uma preia-mar de 3,41m, enquanto para o período de Junho, seria de 3,18m.

No entanto, foi necessário conhecer qual a agitação marítima nos dias antecedentes ao levantamento dos perfis de praia. Para a bóia de Sines calculou-se, para o período de 5 de Janeiro a 12 de Janeiro de 2009, um altura significativa média de 1,66m com um período médio de 8,44s, em que 99% das observações corresponderam a ondulação com uma altura significativa superior a um metro, 0,3% das observações foram ondas que ultrapassaram os três metros de altura significativa da onda, e não se registaram alturas significativas superiores a cinco metros. A altura máxima registada neste período foi de 5,44 m para o dia de 12 de Janeiro de 2009.

Em 73% das observações de ondulação deste período, tiveram direcção WNW e 16% rumo NW (fig. 4.50). Para o período de Fevereiro (4 de Fevereiro a 11 de Fevereiro de 2009) registaram-se 61% das observações com uma altura significativa superior a um metro, 32% com uma altura superior a três metros e 7% superior a 5 m, sendo a altura significativa média de 3m e a altura máxima registada até ao dia 11 de Fevereiro de 10,2m de altura. As direcções da ondulação dominantes foram de WNW com valores entre 50 e 60% e entre 40 e 50% para NW das observações (fig. 4.51).

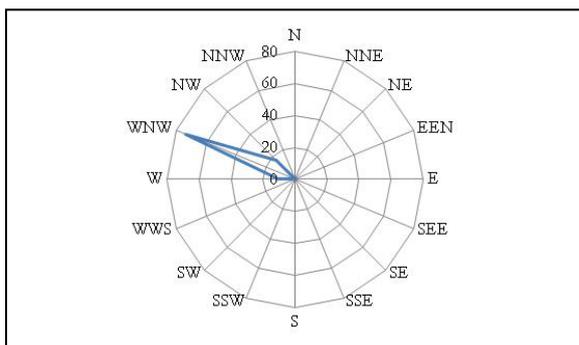


Fig. 4.50: Direcção da ondulação na bóia de Sines no período de 5 a 12 de Janeiro de 2009. Fonte Instituto Hidrográfico.

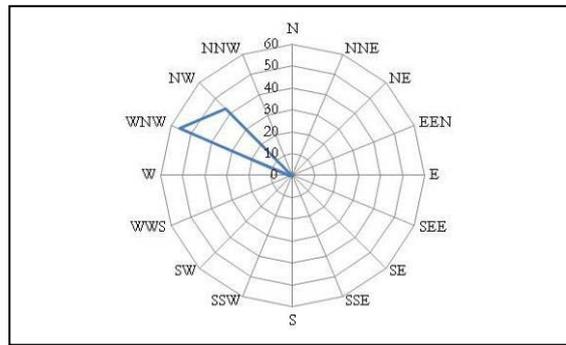


Fig. 4.51: Direcção da ondulação na bóia de Sines no período de 4 a 11 de Fevereiro de 2009. Fonte Instituto Hidrográfico.

Em Junho (16 a 23 de Junho), onde a acumulação sedimentar registada foi intermédia (em comparação com as restantes), apresentam-se valores de ondulação muito diversos: ondulação com altura significativa média de 1,04m com um período médio de 5,74 s, com 62% dos registos de ondulação superiores a 1 m mas inferior a 3m, sendo os restantes 38% valores de ondulação inferior a um metro de altura. A ondulação tem rumo dominante de NW, com 84% dos registos e WNW com 14% dos registos (fig. 4.52).

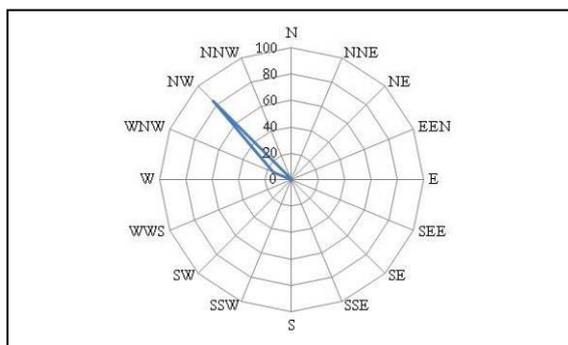


Fig. 4.52: Direção da ondulação na bóia de Sines no período de 16 a 23 Junho de 2009. Fonte Instituto Hidrográfico.

Em Janeiro e Fevereiro foram recolhidas amostras de areia na berma (BP) e face de praia (FP) para compreender qual a granulometria dos sedimentos e energia necessária para o seu transporte (Quadro 4.22 e fig. 4.53). Em Janeiro, as areias eram de grão médio e bem calibradas, quer na berma de praia quer na face de praia, enquanto em Fevereiro as areias já eram de grão grosseiro e moderadamente bem calibradas.

Quadro 4.22: Análise granulométrica das areias recolhidas nos perfis de praia.

ID	Dimensão		Calibragem ( $\sigma$ )		Assimetria ( $Sk$ )		Curtose ( $K$ )		Descrição
	( $\mu\text{m}$ )	( $\Phi$ )	( $\mu\text{m}$ )	( $\Phi$ )	( $\mu\text{m}$ )	( $\Phi$ )	( $\mu\text{m}$ )	( $\Phi$ )	
BP P1/P2 12Jan	455,5	1,135	1,351	0,434	-0,039	0,039	0,952	0,952	Areia média bem calibrada, simétrica e mesocurtica
FP P1/P2 12Jan	367,0	1,446	1,390	0,475	-0,110	0,110	1,011	1,011	Areia média, bem calibrada, aproximada/simétrica e mesocurtica
FP P1/P2 11-Fev	565,0	0,824	1,581	0,661	0,030	-0,030	1,016	1,016	Areia grosseira, moderadamente bem calibrada, simétrica e mesocurtica

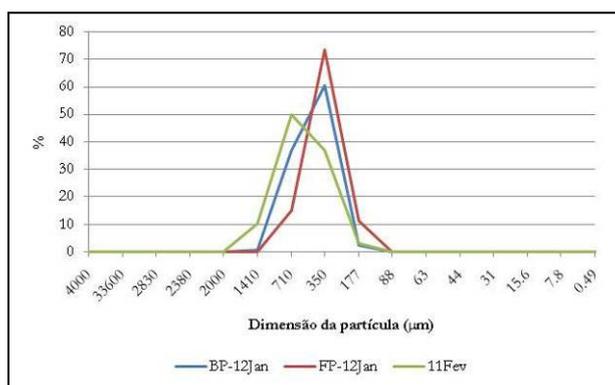


Fig. 4.53: Curvas da análise de percentagens relacionadas com o diâmetro da partícula.

No sopé da arriba identifica-se uma acumulação de areia, blocos e calhaus com volume médio de  $0,56\text{m}^3$ , com uma largura de acumulação de  $15,3\text{m}$  e um declive que pode atingir  $29^\circ$ . Porém, existem blocos em forma de lages com dimensões muito superiores. Estes blocos são de natureza variada, incluindo calcários, arenitos e alguns basaltos.

Os blocos mais pequenos – volume médio de  $0,05\text{m}^3$  - têm um grau de rolamento homogêneo – sub-rolados (fig. 4.54). Pelo contrário, as lajes de maiores dimensões – volume médio de  $0,27\text{m}^3$  - são predominantemente angulosas.



Fig. 4.54: a), b) e c) Detalhe da acumulação de blocos na base da arriba.

A arriba tem um perfil transversal rectilíneo, com o alto de arriba situado entre os 50 e os 55m (fig. 4.55). A parte cimeira da arriba tem uma morfologia suavizada e com um perfil transversal linear em loge de todo o sistema, com excepções na zona do afloramento do filão dolerito e na presença de nível freático à superfície, que promove maior erosão.

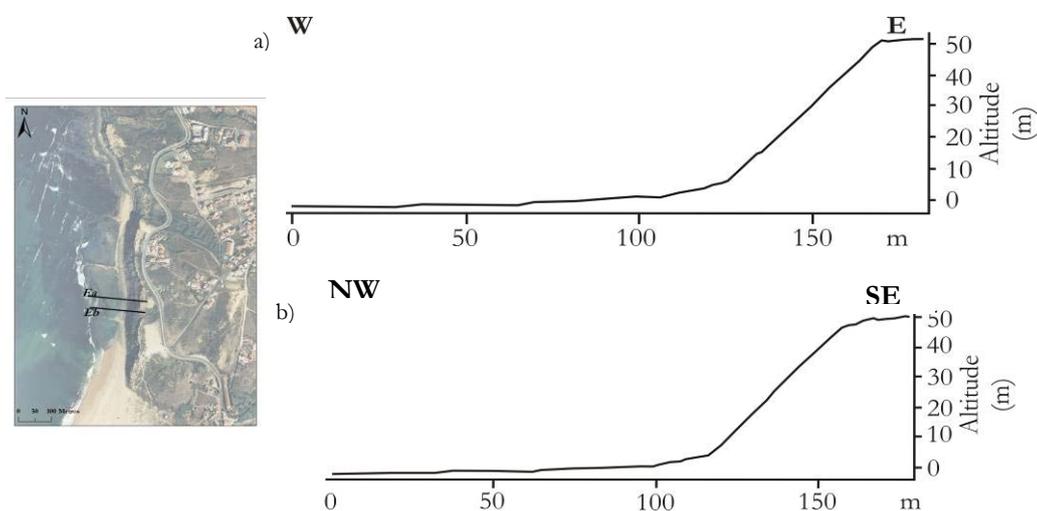


Fig. 4.55: Perfis transversais do sector, a) Perfil *Ea*, b) Perfil *Eb*. Identificação dos locais dos perfis. Ortofotomapa de 2007. Fonte: Instituto Geográfico Português.

No sector cimeiro na arriba afloram bancadas de calcário margoso, onde se encontram cavidades com morfologias diferentes mas que se assemelham a gotas invertidas, apresentando não mais que 30cm de diâmetro (fig. 4.56). Segundo Allen (1982), que estudou este tipo de morfologia, indicou tratar-se de formas construídas pela descida de água onde a dissolução da rocha está

envolvida. Porém, Huggett (2002) designa estas formas por *Grikes*, que correspondem a fendas de dissolução, que seguem descontinuidades e planos de clivagem, dando origem a formas alongadas e profundas. Também Neves (2004), indica que este tipo de micromorfologia em calcários insere-se em formas de pormenor do tipo *Kluftkarren*, que segundo a definição adaptada pelo mesmo autor, correspondem a “fendas sub-superficiais em rochas calcárias ligadas ao alargamento de descontinuidades estruturais subverticais por dissolução. As dimensões, formas, bem como o seu afastamento estão fundamentalmente relacionados com a estrutura e com a disponibilidade e características físico-químicas da água circulante ao longo das descontinuidades”.



Fig. 4.56: Pormenor de *Kluftkarren*.

### ÁREA C

Esta área distingue-se pela fractura existente na plataforma rochosa de sopé. Devido à inclinação para S das unidades litológicas, a plataforma rochosa de sopé é composta por duas bancadas litológicas diferentes (C6 e C8) de calcário margoso, apresentando um degrau talhado na unidade sobrejacente. A bancada menos resistente, de margas, C7, por acção das ondas, foi sendo erodida provocando a instabilização de C8 que, pelo aproveitamento da rede de descontinuidades foi desagregando blocos que foram arrastados pela ondulação (fig. 4.57).

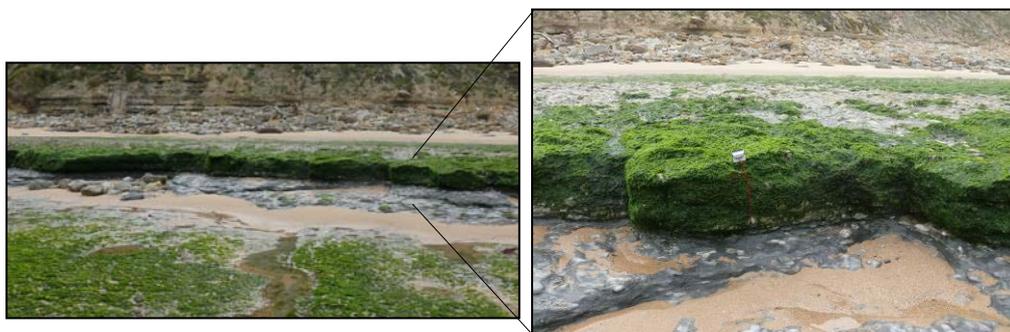


Fig. 4.57: Pormenor do degrau entre camadas e detalhe da erosão basal.

As unidades C6 e C8, constituintes da plataforma, podem estar cobertas, temporariamente, por areia. A plataforma é bastante irregular com dois desníveis devido: (i) a fracturas E-W extensas e com aberturas que oscilam entre 10 cm a 20 cm e (ii) a presença de áreas aplanadas sobrelevadas, da unidade C8, que ainda não foram erodidas pelo mar (fig. 4.58).



Fig. 4.58: Detalhe da plataforma rochosa de sopé.

Legenda:

C6 – calcário margoso

C8 – calcário margoso

— Descontinuidades

Junto ao sopé da arriba observa-se uma acumulação de material detrítico (blocos de arenitos, calcários e basaltos) com uma largura menor à medida que se vai para sul (33m a N e 12m para S). É aqui que o declive da acumulação é maior – 21° (e 18° a N), a dimensão dos blocos é variável (volume médio de 0,29m<sup>3</sup>) e o grau de rolamento também, verificando-se que os blocos maiores são os mais angulosos e os de dimensões menores são blocos rolados (fig. 4.59).



Fig. 4.59: Detalhe da acumulação de blocos na base da arriba.

Quanto ao perfil transversal da arriba, verifica-se um perfil transversal rectilíneo, com um comando médio de 40m, um declive de 35° (fig. 4.60) e exposição a W.

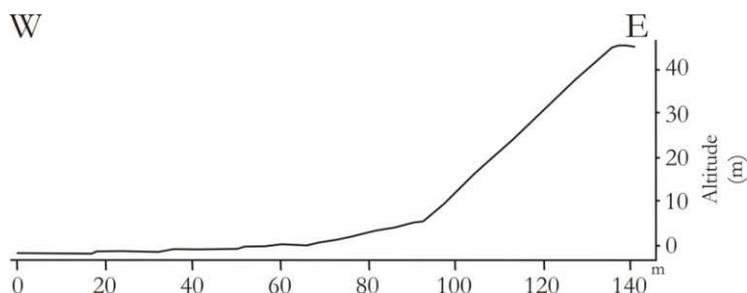


Fig. 4.60: Perfil transversal do sector e identificação do local do perfil. Ortofotomapa de 2007. Fonte: Instituto Geográfico Português.

Para todo este sistema litoral foi feita uma inventariação dos depósitos resultantes de movimentos de vertente, bem como da existência/ausência de cicatrizes (sinal de movimentos recentes) (Quadro 4.23).

Quadro 4.23: Caracterização dos movimentos de massa identificados.

ID	Processo	Litologia	Nº Nas.	$\alpha$ (°)	C(m)	a (m)	L (m)	b (m)	a <sub>1</sub> (m)	a <sub>2</sub> (m)	AT (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )
FG25 -1	Misto	Calcário, arenitos e mat. argiloso	1	24	1,5	16,985	9,62	0,6	1,4	15,6	5,2	49,84
FG25-2	Queda de blocos	Calcário e arenitos	1	23	2,00	4,63	8,35	0,78	1,84	2,8	1,8	15,11
FG25-3	Misto	Calcário, arenitos e mat. argiloso	1	37	18,50*	2,50	13,77	11,13	14,8	12,3	150,6	191,64
FG26 -1	Desabamentos	Calcário, arenitos	1	30	1,75*	8,57	6,52	0,88	1,5	7,1	3,7	24,44
FG26-2	Misto	Calcário e arenitos	1	30	2,5*	6,81	6,25	1,3	2,2	4,6	4,2	26,6
FG26-3	Misto	Calcário, arenitos e mat. argiloso	3	38	3,5*	22*	13,04	2,2	2,8	19,2	23,7	309,1
FG26-4	Misto	Calcário, arenitos e mat. argiloso	-	30	2,5*	9,71	8,42	1,25	2,2	7,5	6,1	51,1
FG27 -1	Misto	Calcário, arenitos	5	37	2,5/3,0	20	20,20	1,8	2,4	17,6	18,1	364,7
FG32 -1	Desabamento, com sulcagem posterior	Calcário, arenitos e material fino	2	27	2,5	17,5	8,95	1,13	2,2	15,3	9,9	88,88
FG32-2	Misto	Calcário, arenitos e material fino	-	32	1	5,5	13,52	0,5	0,8	4,7	1,45	19,7
FG32-3	Misto	Calcário, arenitos e material fino	1	35	1,2	6,67	3,6	0,7	0,98	5,7	2,29	8,26
FG31 -1	Misto	Calcário, arenitos e material fino	1	33	4/3,20 /3,50	14,25	11,30	2,2	3,4	10,9	15,5	175,4
FG31-2	Misto	Calcário, arenitos e material fino	1	33	5,50/2,30	16,25	8,94	3	4,6	11,6	24,3	217,59
FG31-3	Misto	Calcário, arenitos e material fino	-	26	3,20/4,50	8,65	5,72	1,4	2,9	5,8	6,07	34,70
FG31-4	Desabamento	Calcários e arenitos	-	20	1,50/2,50	3,53	2,58	0,5	1,4	2,12	0,9	2,34
FG31-5	Desabamento	Calcários e arenitos	1	27	1,10	5,59	5,60	0,5	0,98	4,6	1,4	7,82
FG31-6	Desabamento	Calcário	-	33	3,50	15,08	14,56	1,9	2,9	12,1	14,4	209,27

NºNas. – número de nascentes existentes  
Misto – erosão hídrica e queda de blocos  
L – comprimento  
a – hipotenusa  
C – largura

$\alpha$  - declive  
b – altura do triângulo  
a – cat. Adjacente do triângulo 1 e 2  
AT – área total dos dois triângulos  
V – volume aproximado  
\* - valor observado

De todas as acumulações dos depósitos estudados, verificou-se que o volume máximo foi de 364,7m<sup>3</sup> e o volume mínimo de 2,34m<sup>3</sup>, sendo o volume médio cerca de 50 m<sup>3</sup>. Da figura (fig. 4.61) seguinte observa-se que 53% dos movimentos, 9 dos movimentos estudados, têm uma dimensão inferior a 50 m<sup>3</sup>, seguindo-se volumes entre 50 e 250 m<sup>3</sup> num total de 6 movimentos (cerca de 35%).

Verifica-se que ao longo deste sistema, com 405 m de extensão, que um metro do sistema compreenderá uma área de cerca de 4,4 m<sup>2</sup> de material desabado.

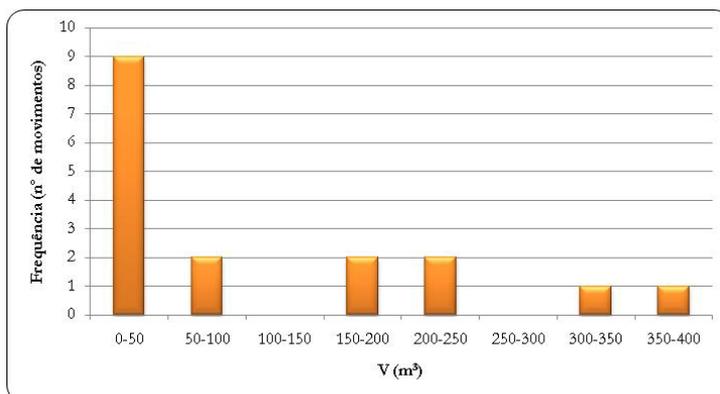


Fig. 4.61: Histograma que relaciona o volume de material desabado por frequência.

#### IV.3.4 ANÁLISE DE RESULTADOS

A existência de depressões alongadas na plataforma rochosa de sopé nos sectores onde afloram filões de rocha alterada indicam que as suas propriedades são muito mais vulneráveis à meteorização mecânica da acção do mar, do que à meteorização subaérea, pois na arriba estas reentrâncias não se prolongam. No entanto, apesar de o filão-dique ser mais resistente, existem áreas em que o material dolerítico desaparece, devendo-se ao facto de existir uma rede de fracturas que o afecta, fragilidades exploradas por processos marinhos e subaéreos.

As existências das sapas a N do filão devem-se ao facto da ondulação dominante ser de NW removendo e transportando o material. A ocorrência de sapas a S, estão relacionadas com a existência de uma fractura transversal à plataforma, fragilidade explorada pela ondulação que originou um maior rebaixamento da plataforma no local e maior energia das ondas na elaboração da sapa. A existência desta sapa permite que a influência da acção das ondas se prolongue até às proximidades da acumulação de blocos.

Nesta faixa mais deprimida, a acumulação de sedimentos é bastante frequente podendo ultrapassar os 50cm de espessura (fig. 4.62).



Fig. 4.62: Pormenor das áreas deprimidas e acumulação de sedimentos, na zona Sul do filão sobre-elevado.

A morfologia dos perfis de praia são o resultado da agitação do mar, quer num período esporádico de ondulação extrema, quer por mudanças sazonais. Ou seja, para perfis de praia com declive suave estão associados a baixa energia de ondas. Dos perfis estudados verifica-se que o perfil de 23 de Junho apresenta-se convexo e mais suave, indicativo de uma situação de agitação marinha mais baixa, do qual se registou 62% dos registos de ondulação inferiores a 3m, o perfil de 11 de Fevereiro com um declive abrupto, apresenta um registo de 32% para ondas com altura significativa superior a 3 m e 7% superiores a 5 m.

Desta análise para a caracterização do volume na dinâmica de acumulação/remoção de sedimentos, verificou-se que os valores referentes à agitação marítima podem ser indicativos de: (i) ocorrência de acumulação de sedimentos, no caso de condições de agitação em que a altura significativa não ultrapassa os dois metros; (ii) ocorrência de perfil erosivo de deposição fraca ou nula de sedimentos, em situações de agitação mais intensa, em que a altura significativa média ronda os três metros, correspondendo a situações inferiores às registadas por Trindade *et al* (2008) que refere como episódios de elevada energia hidrodinâmica altura de onda significativa na rebentação superior a 3,5 m.

Relativamente, aos valores de taxa de rebaixamento obtidos, verificou-se que são bastante superiores aos apresentados no estudo realizado por Stephenson & Finlayson (2009) para plataformas rochosas de sopé de material calcário. No entanto, nos trabalhos realizados por Andrade *et al.* (2002) e Neves (2004) numa plataforma rochosa de sopé, de calcário margoso, a cinco quilómetros a Norte de Foz do Lizandro - Malhadinha – Ribeira de Ilhas, os autores obtiveram taxas de rebaixamento médio anual, aproximadamente, de 1,1mm/ano e 0,858mm/ano, respectivamente. Um outro estudo realizado em calcários na Península de Kaikoura, por Stephenson *et al.* (2010) determinou, para um período de dois anos, uma taxa de rebaixamento médio de 0,910mm/ano e para um período de 10 anos 0,824mm/ano.

Durante o levantamento de 26 de Maio de 2009 foi possível detectar o aumento nos valores medidos pelo TMEM, destacando-se nos valores mínimos de taxa de rebaixamento apresentados no Quadro 4.19 e na fig. 4.39. Estes valores, já apontados no estudo de Neves (2004), são indicativos de uma acreção da rocha – *swelling*.

Este processo de acreção da rocha pode ter origem em diferentes causas, incluindo efeitos de hidratação-dessecação, cristalização do sal e mudanças na temperatura e na humidade (Porter *et al.*, 2009).

Das análises climáticas e de estado do mar, feitas durante o período de monitorização verificou-se que é nos meses de Verão que a plataforma é favorecida pela ocorrência dos processos de meteorização assim como hidratação-dessecação e meteorização pela acção do sal.

Os valores de ressalto obtidos com a utilização do martelo de Schmidt permitiram inferir que em M1A-M a rocha tinha propriedades mais resistentes que em M1B-S. No entanto, determinou-se que as taxas de rebaixamento foram superiores em M1A-M indicando que a abrasão marinha terá sido o principal responsável pelo rebaixamento dado à maior exposição à acção das ondas deste local. Convém, contudo, não esquecer que M1B-S se encontrou coberta de areias durante alguns períodos, o que poderá ter contribuído para a protecção ao ataque das ondas.

Para além desta análise, a determinação do teor de carbonatos e o grau de correlação entre os valores de ressalto e a composição das rochas obteve-se uma linha de tendência de regressão linear, com correlação positiva entre o teor de carbonatos e o valor de ressalto,  $R$ . Quanto à correlação entre as taxas de rebaixamento e os valores de  $R$ , verificou-se que quanto maior o valor de ressalto menor é a taxa de rebaixamento, como seria de se esperar.

Dos perfis topográficos elaborados para a determinação de volumes de areia, o que se estabeleceu foi que em Janeiro o sistema tem alguma acumulação de material arenoso, ao contrário de Fevereiro, que apresenta um perfil regular com remoção de material, em relação ao anterior. No entanto, em Junho há novamente acumulação de material, que em comparação aos restantes apresenta um perfil intermédio de acumulação. Na comparação dos dois perfis, de Fevereiro e Junho, verifica-se que houve uma maior acumulação de sedimentos na plataforma rochosa de sopé em Junho e consequentemente uma diminuição de declive da praia na plataforma.

Tal como no estudo Anfuso *et al.* (2003), determina-se para este estudo que os perfis adquiridos nos meses de Inverno, em que se verificou uma agitação marinha mais intensa, o perfil de praia tende a ter uma perda de sedimento da praia subaérea, em que o material migra para a porção submarina do perfil, a superfície afectada pela rebentação torna-se mais extensa, menos inclinada e pouco acidentada, com adição de sedimentos na porção mais elevada da praia. Nos meses de Verão, em que se verificou uma agitação mais calma, a topografia da praia compreende declives substancialmente mais reduzidos do que os perfis de equilíbrio, é caracterizado pelo fluxo sedimentar dirigido para terra e por um efeito de reajustamento dos declives.

Devido à acumulação de material detrítico, na base da arriba, não foi possível detectar aí formas de erosão. No entanto, a análise da dimensão dos componentes deste depósito permite concluir que o mar exerce aqui uma acção regular de limpeza, removendo o material mais fino e rolando os elementos grosseiros. Ou seja, a acção das ondas é relevante, tanto como agente erosivo como de transporte.

Relativamente à origem dos blocos de basalto, ao longo da área não se encontrou nenhum filão ou chaminé que se pudesse constituir como fonte de alimentação desta acumulação. Como tal, admitem-se as seguintes duas hipóteses: (i) proveniência do mar, ligado a algum filão submerso que

pela acção das ondas, foi arrancado e transportado até à base da arriba (ii) proveniência do interior – transporte dos blocos pelo Rio Lizandro. Através da carta geológica 1:50.000 da folha 30-C, foi possível observar que, na área da bacia do rio Lizandro, se destaca um pequeno filão e uma chaminé de basalto. Os restantes materiais provêm principalmente da dinâmica da arriba, resultantes de desabamentos, de unidades litológicas com resistências elevadas, que posteriormente ou contemporaneamente sofreram a deposição de material mais fino.

As unidades litológicas resistentes e mais salientes com uma rede de fracturas distintas, vão favorecer a individualização de blocos que, por falta de sustentação das bancadas inferiores, favorecem o movimento de massa (fig. 4.63). Na ocorrência de precipitação intensa, há escorrência superficial/sub-superficial de águas que vão transportar sedimentos finos. Estes acabam por se depositarem sobre as acumulações existentes ou sobre as camadas mais salientes.

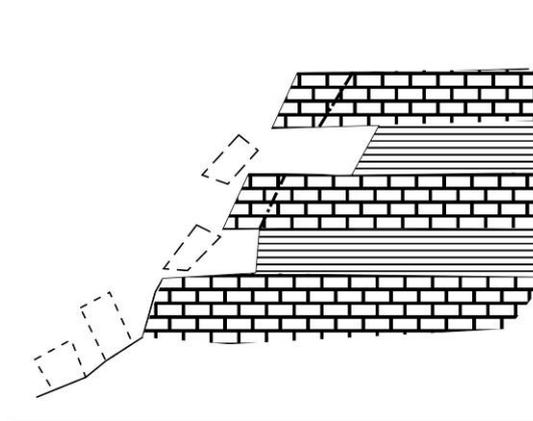


Fig. 4.63: Esquema representativo dos movimentos principais.

Este tipo de erosão e acumulação ocorre nas bancadas mais brandas, mais susceptíveis à acção da erosão hídrica.

#### IV.3.5 CONCLUSÃO

A análise feita no Sistema Plataforma-Arriba permitiu caracterizá-lo e conhecer em pormenor os processos actuantes na arriba e na plataforma.

A plataforma rochosa de sopé talhada em calcário margoso, com uma estrutura inclinada suavemente para S, apresenta características de rocha muito resistente. A sua morfologia de pormenor está nitidamente relacionada com as famílias de discontinuidades e com a estrutura que apresenta. Esta micromorfologia depende dos processos actuantes na plataforma – processos marinhos e processos bioerosivos, fundamentalmente.

O valor de ressalto da plataforma rochosa de sopé, C0, tem uma tendência positiva – o valor aumenta para S. Porém, existem zonas com valores inferiores, em relação à área A. Como o

valor de ressalto avalia a rocha intacta, estes valores díspares estarão relacionados com uma variação lateral na composição e na estrutura do calcário margoso.

Porém, a existência de uma maior acumulação de material arenoso sobre a plataforma rochosa, nas áreas B e C, permite concluir que os sedimentos vão actuar de forma protectora, dissipando a energia das ondas. No entanto, na área a Norte (A) a acumulação de areias tem uma menor espessura, permitindo que a ondulação transporte e remova com maior facilidade as partículas causando abrasão na rocha.

Como é possível observar, trata-se de um sistema com pouca capacidade de alimentação e de retenção sedimentar. Se considerarmos que a principal fonte deste sistema é o rio Lizandro, justifica-se a maior acumulação a S do filão actuando este como um obstáculo ao transporte do material para Norte.

As áreas expostas à ondulação favorecem a colonização de organismos vivos na plataforma, que podem ter uma acção de protecção ou de erosão da rocha.

A monitorização das taxas de rebaixamento da plataforma, realizada por um período de 266 dias, acompanhou épocas do ano (Verão) que favorecem a meteorização pelo sal e os processos resultantes dos ciclos de hidratação-dissecação – períodos com aumento de temperaturas, diminuição da precipitação e diminuição da agitação marinha, e épocas (Inverno) que favorecem os processos marinhos. No entanto para a compreensão pormenorizada, teria sido necessária uma rede de monitorização mais pequena, com medições a uma escala inferior.

Com as medições recolhidas, conclui-se que M1A-M apresenta taxas de rebaixamento superiores a M1B-S. A área encontra-se na faixa entre-marés inferior, mais susceptível à acção marinha. M1B-S encontra-se mais próximo da base da arriba, mais susceptível aos processos subaéreos, que, em relação aos processos marinhos actantes em M1A-M. No entanto, o facto de M1B-S ter tido períodos de cobertura de sedimento, impedindo a actuação dos processos subaéreos, pode indicar a razão de valores de rebaixamento inferior.

A N, a plataforma rochosa apresenta-se desagregada por falta de sustentação do material geológico inferior, que foi removido pela acção contínua das ondas. Com o aproveitamento da rede de fracturas, desagregam-se em blocos paralelepípedicos.

A existência das sapas no filão sobrelevado permite inferir que a ondulação tende a refractar com a aproximação da linha de costa, chegando ao filão, a água entra em remoinho permitindo assim a remoção do material na vertente S do filão, bem como o ataque contínuo da ondulação com rumo NW, removendo o material a N. O filão, junto à arriba, apresenta morfologia característica de alvéolos de meteorização, evidenciando a existência da meteorização através de cristalização do sal (proveniente do *spray* marinho) promovendo quer o ataque químico selectivo quer a meteorização física.

A existência de uma estreita faixa permanente de acumulação de areias, junto à base da arriba, permite inferir que acção marinha ainda ocorre mas não apresenta energia suficiente para a remoção desse material. Esta acção é também evidente na acumulação dos blocos existentes no sopé da arriba. Ao longo do sistema, a acumulação de blocos é variável assim como o seu grau de rolamento. Em subsectores onde a acumulação é reduzida, admite-se que a força da ondulação, em períodos de agitação marítima intensa, tenha removido e trabalhado os blocos. Para aqueles subsectores onde a acumulação é maior e os blocos se apresentam rolados e homométricos, conclui-se que a acção marinha é predominante mas, devido à infiltração da água e à consequente perda de energia, a acção das ondas não é suficiente para a remoção dos mesmos. Desta forma, a base da arriba, constituída pela alternância de bancadas resistentes e brandas, não sofre erosão basal pela acção das ondas, devendo-se ao facto de estar protegida pela acumulação de blocos.

A caracterização da evolução da arriba deu-se pela quantificação do material depositado na base da arriba, concluindo-se que a arriba evolui por movimentos de massa e por erosão hídrica.

As acumulações de movimentos de massa resultam da queda de blocos talhados nas unidades mais resistentes e individualizados pela rede de descontinuidades que, por falta de sustentação do material brando das camadas inferiores, tendem a colapsar. Muitas destas acumulações encontram-se colonizadas por vegetação, indicando que resultam de movimentos antigos.

Algumas das bancadas mais resistentes apresentam formas de dissolução – *Kluftkarren*, indicativas de forte circulação (actual ou herdada) de água no sistema.

A erosão hídrica está bastante presente no topo e parte cimeira da arriba, quer na presença de sulcos quer na acumulação de material fino.

De acordo com os perfis realizados na arriba é possível inferir, de modo geral, que o topo da arriba apresenta um maior recuo (maior dinâmica) que a base da arriba, que está protegida pela acumulação de blocos. Indicando, segundo Schwartz (2005) e Trenhaile (1997), que os processos marinhos são inferiores aos processos subaéreos.

#### IV.4 SISTEMA INTERMITENTE

##### IV.4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

O sector Intermitente tem uma extensão, aproximadamente, de 144m. É o sector mais a sul da área de estudo e caracteriza-se por ser um sistema que, ao longo do ano, alterna entre um sistema plataforma-arriba e um sistema praia-arriba (fig. 4.64).



Fig. 4.64: Sistema Intermitente.

A base da arriba é composta por depósitos de vertente truncados por acção da ondulação e, por vezes, cobertos por areia. Os depósitos têm um declive médio de  $13^\circ$  e uma largura média de 10,6m.

A arriba, exposta a W, vai decrescendo de comando e aumentando de declive de Norte para Sul. A Norte, o alto da arriba encontra-se a 45m de altitude, apresentando esta  $30^\circ$  de declive enquanto a Sul, o declive passa para  $35^\circ$ , elevando-se o alto da arriba somente a 11m.

Este é o único sector em que existe a sensibilização para a dinâmica da arriba, com colocação de placards com indicações de arriba instável e queda de blocos.

##### IV.4.2 LITOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS

Na base do substrato, devido à grande cobertura de areia é apenas possível identificar-se junto à base da arriba um calcário com 49cm de espessura, unidade C10. Sob esta, afloram o calcário C6 e C8, só visíveis quando a cobertura de areias é removida pelo mar. Sobre estas unidades existem acumulações de areia e de depósito de movimentos de vertente.

A face da arriba, nesta área, está densamente coberta por material proveniente de depósitos de vertente de material fino e por densa cobertura de vegetação. Litologicamente, porque as camadas estão a inclinar ligeiramente para S, é possível aferir que se trata de alternância de calcários e margas de diferentes espessuras.

IV.4.3 MORFOLOGIA DO SISTEMA E A SUA EVOLUÇÃO

Este sector é o mais particular, quer a nível da arriba (que vai tendo, para S, uma redução no comando), quer a nível da acumulação de areias que atingem espessuras diferentes ao longo de todo o ano, estimadas entre 0,3m e 2,5m que podem ocorrer com elevada frequência.

Como no sector anterior, foram recolhidas amostras de sedimento na berma e face de praia, quando aplicável. Tanto em Janeiro como em Fevereiro o sedimento acumulado na praia correspondia a uma areia média bem calibrada, simétrica e mesócurtica (Quadro 4.24, fig. 4.65).

Quadro 4.24: Análise estatística da granulometria.

ID	Dimensão		Calibragem ( $\sigma$ )		Assimetria ( $S_k$ )		Curtose ( $K$ )		Descrição
	( $\mu\text{m}$ )	( $\Phi$ )	( $\mu\text{m}$ )	( $\Phi$ )	( $\mu\text{m}$ )	( $\Phi$ )	( $\mu\text{m}$ )	( $\Phi$ )	
BP P3 12-Jan	479,6	1,060	1,33	0,411	-0,052	0,052	0,930	0,930	Areia média, bem calibrada, simétrica mesocurtica
FP P3 12-Jan	479,0	1,062	1,462	0,548	-0,098	0,098	1,018	1,018	Areia média, moderadamente bem calibrada, simétrica mesocurtica
FP P3 11-Fev	468,0	1,095	1,336	0,418	0,030	-0,030	0,964	0,964	Areia média, bem calibrada, simétrica mesocurtica.

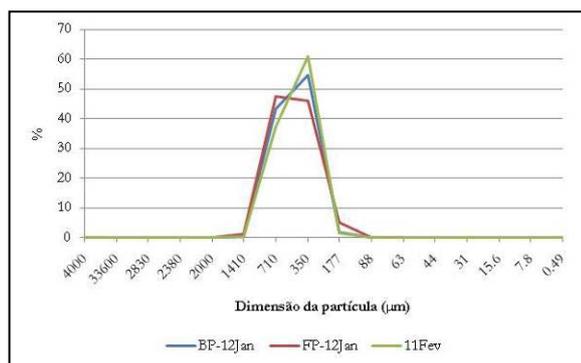


Fig. 4.65: Gráfico de percentagens face à dimensão das partículas.

Para além da acumulação de areias, na base da arriba, existe acumulação de material proveniente de movimentos de vertente que ocupam uma extensão que varia de 9,17m a 13m com uma declive de 13°. Os blocos de calcário, constituintes destes depósitos, são angulosos e de dimensões variáveis, podendo alcançar um volume máximo de 0,047m<sup>3</sup> (fig. 4.66).



Fig. 4.66: Pormenor da acumulação de blocos na base da arriba.

O perfil deste sector é composto por quatro sectores com declive diferente: (1) um correspondente à acumulação de material arenoso sobre a plataforma rochosa de sopé – 3°; (2) outro com 10° que corresponde à acumulação de material detrítico que cobre o sopé da arriba; (3) 33° que corresponde à base da arriba exposta e (4) 15° no sector cimeiro da arriba (fig. 4.67).

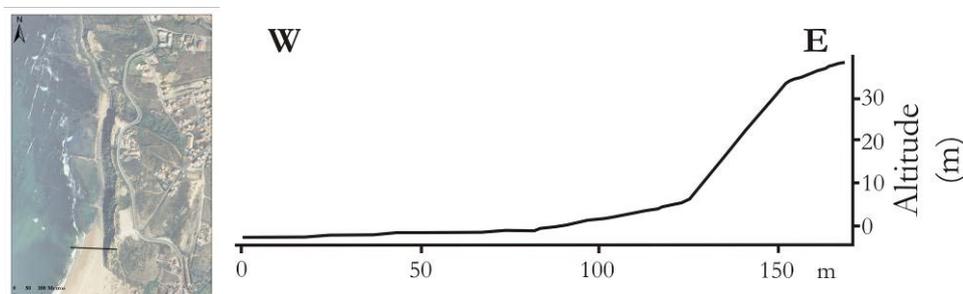


Fig. 4.67: Perfil transversal do sector Intermitente. Identificação do perfil no Ortofotomapa. Ortofotomapa 2007. Fonte: Instituto Geográfico Português.

A evolução da arriba caracteriza-se pela presente acumulação de detritos provenientes de movimentos de massa de diferentes magnitudes (fig. 4.2). Devido à densa colonização de chorões e acumulação de detritos, foi identificado, apenas, uma cicatriz de um movimento recente. No entanto, observa-se com maior clareza o escoamento superficial presente na face da arriba.

Quantificaram-se nove acumulações de movimentos de vertentes, tendo sido estudados apenas três (devido à fraca acessibilidade apresentada pela arriba) – FG30-1, FG30-2 e FG30-3. Estimou-se um volume máximo de material deslocado de 29,06m<sup>3</sup>, correspondente a uma área de 12,84m<sup>2</sup> do sector. Este sector tem uma acumulação total na ordem dos 51,21m<sup>3</sup> (Quadro 4.25).

Quadro 4.25: Características dos movimentos de massa identificados.

ID	Processo	Litologia	Nº Nas.	$\alpha$ (°)	C(m)	a (m)	L (m)	b (m)	a <sub>1</sub> (m)	a <sub>2</sub> (m)	AT (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )
FG30 -1	Misto	Calcário e material fino	-	39	0,6	5,28	6,6	0,38	0,5	4,8	1,0	6,58
FG30-2	Desabamento	Calcário	1	32	1,2	5,98	8,19	0,63	1,02	4,96	1,9	15,57
FG30-3	Desabamento	Calcário e arenitos	1	41	1,2	6,9	10,7	0,78	0,90	5,99	2,71	29,06

NºNas. – número de nascentes existentes na estação do inventário  
Misto – erosão hídrica e queda de blocos  
L – comprimento

a – hipotenusa  
C – largura  
 $\alpha$  – declive  
b – altura do triângulo  
a – cat. Adjacente do triângulo 1 e 2

AT – área total dos dois triângulos  
V – volume aproximado  
\* – valor observado

Das acumulações descritas, identificaram-se, principalmente, blocos de calcário, alguns blocos de arenito e em FG30-1, também material fino, proveniente, possivelmente, de um movimento posterior.

Para além destas acumulações, observaram-se, na parte cimeira da arriba, pequenos depósitos de material mais fino, provenientes da erosão hídrica – sulcagem, afectando principalmente as camadas mais brandas de material margoso que apresentam maior

susceptibilidade para os períodos de chuva, desencadeando o escoamento superficial. Estes depósitos acumulam-se por norma em unidades litológicas mais salientes e resistentes.

#### IV.4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como se viu anteriormente, as unidades que compreendem a plataforma (C6 e C8) apresentam pesos específicos diferentes bem como valores diferentes de porosidade e de resalto. Os valores apresentados indicam que ambos os calcários apresentam-se com composições diferentes. Porém, trata-se de rochas muito resistentes com valores estimados de 188MPa para C6 (Hoek & Brown, 1997; Marinos & Hoek, 2000a; Hoek, 2001).

De acordo com a análise atrás realizada sobre a agitação marítima, verificou-se que as ondas apresentavam uma altura significativa média de três metros para este período em análise (4 de Fevereiro a 11 de Fevereiro de 2009). Ou seja um período de agitação marítima mais intensa é propício à erosão da praia com presença de areia média.

Relativamente aos perfis topográficos na praia, em comparação com os resultados dos restantes perfis realizados, verificou-se que devido à permanência quase contínua e de maior espessura de acumulação de areias neste sector, ocorreu uma diminuição de energia da ondulação. Este facto, deve-se à infiltração da água na areia, e conseqüentemente, a incapacidade da água alcançar a base da arriba.

#### IV.4.5 CONCLUSÃO

A análise do Sistema Intermitente – permitiu perceber que por vezes, na sequência de tempestades, a areia é removida descobrindo a plataforma subjacente. Uma vez que a espessura de areias é reduzida, o sistema pode ser sensível a repetidas situações de tempestade em condições de diminuição do abastecimento de sedimentos.

Inferiu-se que o processo mais importante é acção marinha, quer a nível de ondulação quer a nível de marés. Evidenciado pela acumulação *versus* remoção de areias de praia sobre a superfície rochosa da plataforma. No entanto, esta acumulação de areias, quase sempre presente, permite que não haja influência da acção das ondas na base da arriba, devido à infiltração da água e conseqüente perda de energia das ondas.

A acumulação quase permanente de areias com uma certa espessura, não permitiu caracterizar a plataforma rochosa de sopé. Conclui-se, daqui, que a areia constitui um factor protector da erosão da plataforma, com excepção de períodos de maior agitação marinha, em que ocorre a remoção de um certo volume desta. Nestas situações, as areias que restam actuam como um factor abrasivo relativamente à face rochosa.

Identificaram-se grandes blocos na base da arriba provenientes da evolução da mesma. Estes acumulam-se por desabamento das unidades mais resistentes que, por erosão das camadas

brandas inferiores, e pelo favorecimento da rede de descontinuidades, tendem a colapsar. Ao longo de toda arriba observam-se acumulações de material mais fino, de diferentes volumes, provenientes da erosão hídrica, promovendo, desta forma o perfil típico em que o resultado da acção dos processos de erosão marinha é inferior ao dos processos subaéreos.

## CAPÍTULO V

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do troço litoral Foz do Lizandro - Malhadinha, teve como objectivo compreender a sua evolução dinâmica, baseando-se nas características fundamentais da área, considerando os diversos agentes e processos que predominam neste litoral rochoso, bem como os factores em jogo.

A faixa costeira em estudo está predominantemente exposta a W, exposição favorável à ondulação dominante de NW.

A análise dos afloramentos revelou a alternância de rochas de material mais resistente (bancadas de calcário margoso – C0, C2, C4, C6, C8, C10, C12, C14 e C16) face aos agentes erosivos, com material mais brando (bancadas de margas – Cz, C1, C3, C5, C7, C9, C11, C13, C15), com espessuras que não ultrapassa 0,85 m e 1,20 m, respectivamente. Existem ainda, algumas unidades de material arenítico, com uma resistência intermédia. As unidades mais brandas estão mais susceptíveis face aos agentes erosivos, causando a instabilidade às unidades sobrejacentes.

A identificação e a delimitação dos três sistemas litorais – Sistema Praia-Arriba; Sistema Plataforma-Arriba e Sistema Intermitente permitiram mostrar a geomorfologia da área, assim como a avaliação independente a nível dos factores e processos que ocorrem em cada um deles. E, desta forma, perceber a dinâmica deste troço de 800m.

Relativamente ao conjunto da área estudada, foi possível extrair as seguintes conclusões:

- 1- a alternância de bancadas com diferentes resistências e espessuras face à acção das ondas é fundamental para a existência da praia encastrada e para a evolução da arriba;
- 2- o sistema de falhas em todo o troço litoral apresenta orientações principais idênticas – N350° e N80°/50°, que têm influência na dinâmica actual, que na plataforma rochosa de sopé, em particular no seu sector N onde esta está desagregada de acordo com o sistema de falhas, quer por na arriba condicionar a fracturação das bancadas resistentes;
- 3- a acção marinha é predominante nas zonas onde a acumulação é maior e os blocos se apresentam rolados e mais homométricos, embora devido à infiltração da água e à consequente perda de energia, a acção das ondas não seja suficiente para a remoção dos mesmos;
- 4- a arriba evolui por movimentos de massa – desabamentos e deslizamentos – afectando principalmente as unidades mais resistentes por falta de sustentação das bancadas inferiores, e pelo favorecimento da rede de discontinuidades; estes movimentos são, em geral, de pequena magnitude e nem sempre originam recuo do alto da arriba;

- 5- a arriba também evolui por erosão hídrica; embora sendo um processo de pequena magnitude afecta sobretudo as formações mais brandas, originando recuo da arriba na sequência de cada episódio chuvoso e instabilizando as bancadas resistentes sobrejacentes;
- 6- a evolução da arriba é testemunhada pela deposição de material, quer fossilizando a base da arriba, quer cobrindo alguns sectores da face da arriba, sobre as unidades mais resistentes e por isso salientes;
- 7- a evolução da arriba através da análise das fotografias aéreas e do ortofotomapa permite concluir que pode ocorrer recuos que afectam somente um pequeno sector da face da arriba, não querendo impreterivelmente dizer que arriba se encontra estável. No entanto, podem ocorrer alguns episódios que provocam um recuo significativo;
- 8- a acumulação de blocos na base da arriba, independentemente do grau de rolamento e de dimensão, actua de forma protectora relativamente à acção erosiva das ondas, impedindo que haja erosão basal;
- 9- a presença de *Kluftkarren*, num dos afloramentos de camada calcária, indica claramente a acção da dissolução nesta camada litológica, aproveitando a rede de diaclases pré-existente;
- 10- o perfil morfogenético geral da arriba corresponde a um perfil típico em que os processos de erosão marinha têm uma componente inferior aos processos subaéreos;
- 11- a arriba evolui de igual modo com excepção do Sistema Praia-Arriba em que a arriba se encontra muito mais recuada, devido à presença contínua de uma nascente perene. Este sector tem uma maior componente de processos subaéreos.

Do estudo dos três sistemas litorais definidos, destacam-se individualmente as seguintes conclusões e práticas:

- no sistema Praia-Arriba a existência de uma praia encastrada é favorecida pela estrutura e pela constituição geológica do troço costeiro;
- a determinação das características geotécnicas da unidade litológica mais branda, Cz, responsável pela praia encastrada, permitiu perceber que se tratava de uma rocha extremamente branda e muito pouco coesa;

- a inclinação das bancadas é propícia à ondulação dominante e devido à baixa resistência da unidade aflorante, é possível, pela acção erosiva das ondas a remoção deste material brando e consequente recuo das bancadas;
- no sistema praia-arriba, a acção da ondulação, apesar de sofrer uma perda de energia nas areias de praia é sentida: (i) na acumulação/transporte de areias na própria praia (ii) na remoção de alguns blocos de depósito de vertente em alguns períodos de agitação marítima mais forte; (iii) na erosão basal da unidade C0;
- a estrutura e a rede de discontinuidades da plataforma rochosa de sopé são fundamentais na caracterização do sistema Plataforma-Arriba; a bancada inferior, de material mais brando, sofre erosão, provocando falta de sustentação à plataforma que por aproveitamento das fracturas acaba por se desagregar;
- a plataforma rochosa de sopé ao longo do Sistema Plataforma-Arriba, não apresenta uma variação de valor de resalto de Norte para Sul, apenas se regista um pequeno aumento não significativo do valor de resistência a S.
- o sistema Plataforma-Arriba não tem capacidade de retenção e de abastecimento sedimentar, sendo a principal fonte deste sistema a praia da Foz do Lizandro levando a maior acumulação de areias a Sul do filão do que a Norte – o filão actua como barreira ao transporte de sedimentos para Norte;
- verificou-se através das sapas existentes no filão sobrelevado que a ondulação tende a refractar com a aproximação à linha de costa; a ondulação ao alcançar a sapa do filão na vertente Sul, tende a criar turbulência que por aproveitamento da rede de discontinuidades existentes remove o material;
- junto à arriba, o filão dique, apresenta-se com uma micromorfologia característica de meteorização provavelmente ligada a haloclastia, o que indica que o dolerito é uma rocha mais propícia a este processo que os calcários margosos, pois estes não apresentam nenhum tipo de microformas; no entanto, importa referir que podem existir outros factores a considerar, como o tempo de exposição suficiente para se desenvolverem estas formas; é possível que não tenha existido tempo para o desenvolvimento em calcários margosos;

- as áreas expostas à ondulação e desprotegidas de areia, favorecem a colonização biológica da plataforma rochosa de sopé. Estes organismos podem actuar como factor abrasivo ou protector;
- a análise das taxas de rebaixamento da plataforma rochosa de sopé, nos dois locais estudados, indica que a acção erosiva da ondulação decresce, como seria de esperar, para o interior. Como esta análise compreende 266 dias, não foi possível criar um padrão estacional;
- da realização da análise sedimentológica das areias de praia sobre a plataforma rochosa, no sistema plataforma-arriba, foi possível concluir a existência de areias grosseiras a Norte do sistema e areias de dimensão média a Sul, podendo, este último, ter influência (e ser influenciado) no sistema adjacente, não estudado (Sistema Praia-Duna); para além disso, os perfis topográficos realizados correspondem a um funcionamento de um sistema dinâmico de praia com acreções nos perfis de Junho de material arenoso fino e remoção de material nos meses de Janeiro e Fevereiro, com predomínio no sistema de material mais grosseiro;
- a variação lateral da dimensão das areias de praia – areias grosseiras mais a Norte (na praia encastrada), com diminuição das dimensões para Sul (junto à praia Foz do Lizandro) – é indicativo de maior energia das ondas na praia Malhadinha; grosso modo, como a praia da Malhadinha não é protegida pela plataforma rochosa, as ondas tendem a alcançá-la com maior energia do que nos restantes sectores, no entanto seria necessário conhecer melhor a topografia da área submersa pois podem existir cotas inferiores frente à praia.
- a presença de uma pequena faixa de areias, junto da arriba, ao longo de todo o Sistema Plataforma-Arriba, permite concluir que a acção marinha predominante neste local é uma acção mais de transporte e deposição do que de erosão;
- no Sistema Intermitente a acumulação de areias, quase sempre presente, permite que não haja influência da acção das ondas na base da arriba, devido à infiltração da água e consequente perda de energia das ondas;
- a areia, no Sistema Praia-Arriba (Sul), acaba por ser um factor protector em relação à erosão da plataforma, com excepção de períodos de maior agitação marinha, em que há remoção de algum volume de areia, sendo que o que permanece no sistema actua como um factor abrasivo relativamente à superfície rochosa.

Em função das características do litoral rochoso de Foz do Lizandro - Malhadinha é possível concluir que a evolução do litoral vai continuar a ocorrer de forma lenta, principalmente a plataforma rochosa de sopé e a base da arriba, sendo o recuo do alto da arriba mais significativo, com movimentos de massa quer em forma de queda de blocos, favorecidos pela erosão das unidades mais brandas, quer por erosão hídrica.

Actualmente, a ocupação antrópica não é muito acentuada no topo da arriba, sendo necessário, de qualquer das formas, cuidado especial em áreas onde o recuo é mais significativo – Sector Praia-Arriba – e junto do escoamento superficial perene.

Como tal, e de acordo com o ordenamento do território, propõem-se algumas medidas, já implementadas, forçosamente reactivas, tais como:

- a colocação de sinais claros na base da arriba, alertando para a sua instabilidade, com indicação de uma faixa de segurança que não deve ser utilizada pelos utentes da praia;
- a colocação de sinais claros de arribas instáveis no topo da arriba;
- o afastamento dos parques de estacionamento no topo da arriba.

Num estudo futuro, seria interessante a instalação de novas áreas de monitorização de rebaixamento da plataforma rochosa de sopé com uso do TMEM, no Sistema Intermitente bem como na plataforma a Sul do “Filão-Dique”. A monitorização para a compreensão do factor biológico nas plataformas (estudo já em curso por parte do projecto BISHOP), assim como a monitorização da temperatura da água do mar acompanhando por um conhecimento aprofundado da colonização biológica existente permitiriam um estudo muito mais detalhado sobre o rebaixamento (e acreção) das plataformas. Seria importante a instalação de equipamentos de pressão na plataforma rochosa de sopé para a medição da altura de onda, o período de onda e a profundidade da água ao longo da plataforma, assim como a temperatura da água e a sua salinidade. Relativamente à ondulação seria necessário o cálculo de energia de onda ao chegar à plataforma rochosa, não esquecendo o factor de rugosidade.

A realização de maior detalhe na monitorização da acumulação de areias e a sua análise granulométrica na plataforma, poderão permitir um estudo mais aprofundado, somado à realização do estudo dos movimentos dos sedimentos durante os ciclos de maré.

Para a compreensão detalhada da evolução da arriba, era interessante acompanhar os movimentos de massa ao longo de uma série de anos, bem como fazer um estudo aprofundado na foto interpretação, com correcções nas fotografias aéreas. Seria importante o levantamento topográfico das acumulações de depósito na base da arriba, provenientes dos movimentos de massa.

## BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, J. R. L. (1982) – Sedimentary Structures. Their character and physical bases. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. 579 p.
- AMARAL, P.M.; GUERRA ROSA, L.; CRUZ FERNANDES, J. (1999) – Determination of Schmidt rebound hardness consistency in granite. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 36, pp. 833-837.
- ANDRADE, C. (1998) – Dinâmica, Erosão e Conservação de Zonas de Praia. *Expo'98*.
- ANDRADE, C.; MARQUES, F.; FREITAS, M. C.; CARDOSO, R.; MADUREIRA, P. (2002) – Shore platform downwearing and cliff retreat in Portuguese West Coast. *Littoral 2002. The Changing Coast. EUROCOAST/EUCC*, Porto – Portugal. p. 423-431.
- ANDRIANI, G. F.; WALSH, N. (2007) – Rocky coast geomorphology and erosional processes: A case study along the Murgia coastline South Bari, Apulia – SE Italy. *Geomorphology*, vol. 87, p. 224-238.
- ANFUSO, G.; MARTÍNEZ DEL POZO, J. A.; GRACIA, F. J.; LÓPEZ-AGUAYO, F. (2003) – Long-shore distribution of morphodynamic beach states along an apparently homogeneous coast in SW Spain. *Journal of Coastal Conservation*, vol. 9, p. 49-56.
- AYDIN, A. (in press) – ISRM Suggested method for determination of the Schmidt hammer rebound hardness: Revised version. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* (2008). Doi:10.1016/j.ijrmms.2008.01.020.
- AYDIN, A.; BASU, A. (2005) – The Schmidt hammer in rock material characterization. *Engineering Geology*, vol. 81, p. 1-14.
- ARAÚJO, M. A. (2000A) – A evolução do litoral em tempos históricos: a contribuição da Geografia Física. *O litoral em perspectiva histórica* (séc. XVI-XVIII). FLUP, 6-7 Novembro. 15 p.
- ARAÚJO, M. A.; GOMES, A. (2009) – The use of the GPS in the identification on fossil shore platforms and its tectonic deformation: an example from on the Northern Portuguese Coast. *Journal of Coastal Research*, SI. 56, p. 688-692.
- AZEVÊDO, T. M. (2001) – Há 100 milhões de anos, a Ericeira debaixo de água. Actas III. Curso de Verão. In: Homem, Tempo e Ambiente – A Ericeira em Foco. Ed. Mar de Letras, p. 113-131. Portugal.
- BADAGOLA, A.; RODRIGUES, A.; TERRINHA, P.; VEIGA, L. (2006) – Caracterização geomorfológica da plataforma continental do Esporão da Estremadura. VII Congresso Nacional de Geologia. Évora, p. 377-380.
- BARTON, N.; CHOUBEY, V. (1977) – The shear strength of rock joints in teory and practice. *Rock Mechanics*, vol, 10, p. 1-54.
- BLANCO-CHAO, R.; PÉREZ-ALBERTI, A; TRENHAILE, A. S.; COSTA-CASAI, M.; VALCÁRCCEL-DÍAZ, M. (2007) – Shore platform abrasion in a para-periglacial environment, Galicia, northwestern Spain. *Geomorphology*, vol. 83, p. 136-151.

- BIRD, E. (2008) – Coastal Geomorphology. An Introduction. Second Edition. John Wiley & Sons, Chichester, England. 414 p.
- BROMHEAD, E. N. (1986) – The stability of slopes. 2<sup>nd</sup> Edition. Blackie Academic & Professional, Glasgow, 411 p.
- BROWN, E.; COLLING, A.; PARK, D.; PHILLIPS, J.; ROTHERY, D.; WRIGHT, J. (1999) – Waves, Tides, and Shallow-water Processes. 2<sup>nd</sup> Edition. The Open University, UK, 227 p.
- CALÉ LAMAS, P.; RODRIGUES-CARVALHO, J. A. (2006) – Os movimentos de terrenos nos taludes marginais da costeira de Almada. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, vol. 3, p. 303-310.
- CHARMAN, R.; CANE, T.; MOSES, C.; WILLIAMS, R. (2007) – A device for measuring downearing rate on cohesive shore platforms. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 32, p. 2212-2221.
- CHAPMAN, V. J. (1946) – Algal zonation in the West Indies. *Ecology*, vol. 27 (1), p. 91-93.
- ÇOBANOĞLU, İ.; ÇELİK, S. B. (2008) – Estimation of uniaxial compressive strength from point load strength from point load strength, Schmidt hardness and P-wave velocity. *Bull Engenery Geology Environmental*, vol. 67, p. 491-498.
- COSTA, M. D. S. (1994) – Agitação marítima na costa Portuguesa. *Anais do Instituto Hidrográfico*, n.º 13, p. 35-40.
- DAY, M. J.; GOUDIE, A. S. (1977) – Field assessment of rock hardness using the Schmidt test hammer. *BGRG, Technical Bulletin*, vol 18, p. 19-29.
- DE LANGE, W. P.; MOON, V. G. (2005) – Estimating long-term cliff recession rates from shore platforms widths. *Engineering Geology*, vol. 80, p. 292-301.
- DEL RIO, L.; GRACIA, F. J.; BENAVENTE, J. (2009) – Mass movements and cliff retreat along the SW Spanish Coast. *Journal of Coastal Research*, SI 56, p. 717-721.
- DIAS, J. M. A. (1993) – Estudo de avaliação da situação ambiental e propostas de medidas de salvaguarda para a faixa costeira portuguesa (Geologia Costeira). *e-book* <http://w3.ualg.pt/~jldias/JAD/indexeB.html>.
- DIAS, J. M. A.; FERREIRA, O.; PEREIRA, A. (1994) – Estudo sintético de diagnóstico da geomorfologia e da dinâmica sedimentar dos troços costeiros entre Espinho e Nazaré. *e-book* [http://w3.ualg.pt/~jldias/JAD/e\\_b\\_EspNaz.html](http://w3.ualg.pt/~jldias/JAD/e_b_EspNaz.html).
- DIAS, J. M. A. (2004) – A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos. Uma introdução à Oceanografia Geológica. Universidade do Algarve, Faro, 84p.
- DIAS, J. M. A. (2005) – Evolução da zona costeira portuguesa: forçamentos antrópicos e naturais. *Encontros Científicos – Tourism & Management*. No 1, p. 8-28.
- DICKSON, M. E. (2006) – Shore platform development around Lord Howe Island, southwest Pacific. *Geomorphology*, vol. 76, p. 295-315.
- DONG, P. (2005) – Cliff Erosion – How much do we really know about it. *C. Zimmermann et al. (eds.) Environmentally Friendly Coastal Protection*, p. 233-242.

- DORNBUSCH, U.; MOSES, C.; ROBINSON, D.; WILLIAMS, R. (2005) – Soft copy photogrammetry to measure shore platform erosion on decadal time scales. *Processings of CoastGis 2005*; 6<sup>th</sup> International Symposium on Gis and Computer Cartography for Coastal Zone Management, Aberdenn, p. 72-84.
- DORNBUSCH, U.; ROBINSON, D.; WILLIAMS, R.; MOSES, C. (2007) – Chalk shore platform erosion in the vicinity of sea defense structures and the impact of construction methods. *Coastal Engineering*, vol. 54, p. 801-810.
- DORREN, L.K. A. (2003) – A review of rockfall mechanics and modeling approaches. *Progress in Physical Geography*, vol. 27 (1), p. 69-87.
- ERICSON, K. (2004) – Geomorphological surfaces of different age and origin in granite landscapes: an evaluation of the Schmidt hammer test. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 29, p. 495-509.
- FALCÃO NEVES, P.; COSTA E SILVA, M.; REIS E SOUSA, M. (2006) – Variação da resistência ao corte de rochas brandas com o seu índice de durabilidade. CEGEO, I. S. T., Lisboa.
- FERREIRA, J. P.; MIRANDA, P. M. (2005) – Modeling upwelling with a coupled atmosphere-ocean mesoscale model. Sixth Conference on Coastal Atmospheric and Oceanic Prediction and Processes. 4 p.
- FERREIRA, Ó.; ALVARINHO-DIAS, J.; TABORDA, R. (1994) – Wave energy dissipation on a high energy barred nearshore. A natural and effective coastal protection. *Proceedings of Littoral 94*. Lisboa, p. 369-379.
- GÓMEZ-PUJOL, L.; CRUSLOCK, E. M.; FORNÓS, J. J.; SWANTESSON, J. O. H. (2006) – Unravelling factors that control shore platforms and cliffs in microtidal coasts: the case of Mallorcan, Catalanian and Swedish coasts. *Zeitschrift für Geomorphologie*, European Shore Platform Dynamics, Suppl. Vol. 144, p. 117-135.
- GOUDIE, A. S. (2006) – The Schmidt Hammer in geomorphological research. *Progress in Physical Geography*, vol. 30 (6), p. 703-718.
- GUSMÃO, M. F.; TRINDADE, J.; NEVES, M.; RAMOS-PEREIRA, A. (2009) – Shore platforms: Problems in topographic survey. Example of Malhadinha (Estremadura, Portugal West Coast). 1<sup>st</sup> International Symposium of Geography. Landscapes: Perception, Understanding, Awareness and Action – Abstracts Proceedings. Editura Fundatiei România de Máine, Spiru Haret University – Faculty of Geography and Tourism Geography, Buvharest, Roménia, p.72.
- HAPKE, C., J.; REID, D.; RICHMOND, B. (2009) – Rates and trends of coastal change in California and the regional behavior of the beach and cliff system. *Journal of Coastal Research*, vol. 25 (3), p. 603-615.
- HOEK, E.; BROWN, E. T. (1997) – Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 34 (8), p. 1165-1186.
- HOEK, E. (2001) – Rock mass properties for inderground mines. *Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies*, Edited by W. A. Hustrulid and R. L. Bullock, Ltleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME), 21 p.

- HOLT, T. (1999) – A classification of ambient climatic conditions during extreme surge events off Western Europe. *International Journal of Climatology*, vol. 19, p. 725-744.
- HUDSON, J. A.; HARRISON, J. P. (2000) – Rock Mechanics. An Introduction to the Principles. 1<sup>st</sup> volume. Second Edition. Pergamon, Elsevier Science, Oxford. 458 p.
- HUGGETT, R. J. (2002) – Fundamentals of geomorphology. Routledge Fundamentals of Physical Geography. Routledge, Oxon. 353 p.
- ISRM (1978) – Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. International Society of Rock Mechanics. *International Journal for Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 15, p. 319-368.
- KATZ, O.; RECHES, Z.; ROEGIERS, J.-C. (2000) – Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer. *Internacional Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 37, p. 723-738.
- KENNEDY, D.M; BEBAN, J. G. (2005) – Shore platform morphology on a rapidly uplifting coast, Wellington, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 30, p. 823-832.
- KENNEDY, D.M; DICKSON, M. E. (2006) – Lithological control on the elevation of shore platforms in a microtidal setting. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 31, p. 1575-1584.
- KOTZE, G. P. (2007) – An assessment of rockfall frequency for the coastal cliff-lines of Pittwater local government area, Sydney. *Australian Geomechanics*, vol. 41, No. 1 p. 213-219.
- KULLBERG, J. C.; MACHADO, S. (2005) – Cartografia geológica do Mesozóico na AML e aspectos relativos à normalização. Cartografia Geológica Aplicada a Áreas Urbanas – O caso da Área Metropolitana de Lisboa, p. 49-61.
- KULLBERG, J. C.; ROCHA, R.B.; SOARES, A. F.; REY, J., TERRINHA, P.; CALLAPEZ, P.; MARTINS, L. (2006) – A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. . Geologia de Portugal no contexto Ibérico (R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha & J. C. Kullberg, Eds.). Univ. Évora , p. 317-368.
- KULLBERG, J. C.; TERRINHA, P.; PAIS, J.; REIS, R. P.; LEGOINHA, P. (2006) – Arrábida e Sintra: dois exemplos de tectónica pós-rifting da Bacia Lusitaniana. Geologia de Portugal no contexto Ibérico (R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha & J. C. Kullberg, Eds.). Univ. Évora, p. 369-396.
- KUMAR, A.; SERALATHAN, P.; JAYAPPA, K.S. (2009) – Distribution of coastal cliffs in Kerala, India: their mechanisms of failure and related human engineering response. *Environmental Geology*, vol. 58, p. 815-832.
- LABOREL, J.; LABOREL-DEGUEN, F. (1995) – Biological indicators of Holocene sea-level and climatic variations on rocky coasts of tropical and subtropical regions. *Quaternary International*, vol. 31, p. 53-60.
- LEE, E. M. (2008) – Coastal cliff behaviour: Observations on the relationship between beach levels and recession rates. *Geomorphology*, vol. 101, p. 558-571.
- LOWE, J. A.; GREGORY, J. M.; FLATHE, R. A. (2001) – Changes in the occurrence of storm surges around the United Kingdom under a future climate scenario using a dynamic storm surge model driven by the Hadley Center Climate models. *Climate Dynamics*, vol. 18, p. 179-188.

- MARINOS, P.; HOEK, E. (2000a) – GSI: A Geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proceedings of the GeoEng2000 at the international conference on geotechnical and geological engineering, Melbourne, Technomic publishers, Lancaster, p. 1422-1446.
- MARQUES, F. M. S. F. (1997a) – As arribas do litoral do Algarve. Dinâmica, processos e mecanismos. Dissertação de Doutoramento. Fac. de Ciências da Univ. de Lisboa. 556 p.
- MARQUES, F. M. S. F. (2006a) – A simple method for the measurement of cliff retreat from aerial photographs. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Suppl. vol. 144, p. 39-59.
- MARQUES, F. M. S. F. (2006b) – Rates, patterns, timing and magnitude-frequency of cliff retreat phenomena. A case study on the west coast of Portugal. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Suppl. vol. 144, p. 231-257.
- MARQUES, F. M. S. F. (2009) – Sea cliff instability hazard prevention and planning: examples of practice in Portugal. *Journal of Coastal Research*, SI 56, p. 856-860.
- MATA REIS, R. M.; ZORRO GONÇALVES, M. (1981) – O clima de Portugal. Fascículo XXXII. Caracterização climática da região agrícola do Ribatejo e Oeste. Lisboa 1981, INMG.
- MATOS FERNANDES, M. (2006) – Mecânica dos Solos. Conceitos e Princípios Fundamentais. FEUP edições. Porto. 451p.
- MOORE, J. R.; SANDERS, J. W.; DIETRICH, W. E.; GLASER, S. D. (2009) – Influence of rock mass strength on the erosion rate of alpine cliffs. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 34, p. 1339-1352.
- NAYLOR, L. A.; STEPHENSON, W. J. (2009) – On the role of discontinuities in mediating shore platform erosion. *Geomorphology*, vol. 114, p. 89-100.
- NETO, C.; CAPELO, J.; SÉRGIO, C. ; COSTA, J. C. (2007) – The *Adiantetea* class on the cliffs of SW Portugal and of Azores. *Phytocoenologia*, vol. 37 (2), p. 221-237.
- NEVES, M. (1995) – Dinâmica actual e recente dos litorais rochosos. Exemplos do SW português. Dissertação de Mestrado. Fac. de Letras da Univ. de Lisboa, departamento de Geografia. 196 p.
- NEVES, M.; RAMOS-PEREIRA, A.; LARANJEIRA, M. M.; TRINDADE, J. (2001) – Desenvolvimento de um microerosómetro do tipo TMEM para aplicação em plataformas rochosas litorais. *Finisterra*, XXXVI (71), p. 251-258.
- NEVES, M. (2004) - Evolução actual dos litorais rochosos da Estremadura Norte. Estudo de Geomorfologia. Dissertação de Doutoramento. Fac. de Letras da Univ. de Lisboa, departamento de Geografia. 574 p.
- OLIVEIRA, S. (2005) – Evolução recente da linha de costa no troço costeira Forte Novo – Garrão (Algarve). Dissertação de Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra. Fac. De Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, 137 p.
- PETHICK, J. (1984) – An introduction to coastal geomorphology. Eduard Arnold. Nova Iorque. 262 p.

- PIRES, H. O. (1989) – Alguns aspectos do clima de agitação marítima de interesse para a navegação na costa de Portugal. O Clima de Portugal, Fasc. XXXVII, vol.2, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa, 34 p.
- PORTER, N. J.; TRENHAILE, A. S.; PRESTANSKI, K. J.; KANYAYA, J. I. (2009) – Shore platform morphology and processes in eastern Canada: micro-tidal Gaspé, Québec. *Geomorphology* (2009), doi: 10.1016/j.geomorph.2009.10.010.
- PROTHERO, D. R.; SCHWAB, F. (2004) – Sedimentary Geology. An Introduction to Sedimentary Rocks and Stratigraphy. Second Edition. W. H. Freeman and Company. New York. 557 p.
- RAMALHO, M.; PAIS, J.; REY, J.; BERTHOU, P. Y.; ALVES, C. M. A.; PALÁCIOS, T.; LEAL, N.; KULBERG, M. C. (1993) – Condicionamentos à erosão no litoral português. O exemplo da costa sudoeste (entre porto Covo e Lagos). In A. Brum Ferreira, *et al.* (1993) – Notícia Explicativa da folha 34-A, Sintra. Serviços Geológicos de Portugal. Carta Geológica de Portugal 1:50000. Lisboa, 79 p.
- RAMOS-PEREIRA, A. (1993) – Condicionamentos à erosão no litoral português. O exemplo da costa sudoeste (entre porto Covo e Lagos). In A. Brum Ferreira, *et al.* (1993) – Estudos de Geografia Física e Ambiente. Linha de Acção de Geografia Física. Relatório n°32, p. 57-74.
- RAMOS-PEREIRA, A. (1998) – Programa da Cadeira de Ambiente Litoral. Apresentada à Faculdade de Letras para o concurso a Professora Associada (Policopiado).
- RAMOS-PEREIRA, A. (2008) – Programa de Sistemas Litorais: Dinâmicas e Ordenamento. Unidade Curricular de 2ºCiclo. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, 114 p.
- RAMOS-PEREIRA, A. (2008) – Sistemas litorais: dinâmicas e ordenamento. *Finisterra*, XLIII, vol.86, p. 5-29.
- RAMOS-PEREIRA, A.; RAMOS, C.; NEVES, M. (2006) – Dinâmica dos sistemas litorais: uma componente no ordenamento do território. O exemplo de Porto de Mós (Lagos). *Revista da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, vol. 3, APGeom, 2006, p. 237-244.
- RAMOS-PEREIRA, A.; TRINDADE, J.; NEVES, M. (2005) – The portuguese littoral setting. Portugal: coastal dynamics. Field Trip Guide A-1, Sixth International Conference on Geomorphology, Zaragoza, p. 1-6.
- RICHARDS, K.; LORRIMAN, N. (1987) - “Basal erosion and mass movement” in *Slope stability*, ed. M.G.Anderson and K.S.Richards, John Wiley & Sons Ltd, p. 331-357.
- ROBINSON, L. A. (1976) – The micro-erosion meter technique in a littoral environment. *Marine Geology*, vol. 22, p. M51-M58.
- ROCHA, M. (1981) – Mecânica das Rochas. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 445p.
- RODRÍGUEZ-LOSADA, J. A.; HERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, L. E.; OLALLA, C.; PERUCHO, A.; SERRANO, A.; EFF-DARWICH, A. (2009) – Geomechanical parameters of intact rocks and rock masses from the Canary Islands: Implications on their flank stability. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 182, p. 67-75.
- SALDANHA, L. (1995) – Fauna submarina Atlântica. 4ªEdição. Publicações Europa-América, 364 p.

- SCHWARTZ, M. L. (2005) – Encyclopedia of Coastal Science. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, Springer Editor, 1211 p.
- SPENCER, T.; VILES, H. (2002) – Bioconstruction, bioerosion and disturbance on tropical coasts: coral reefs and rocky limestone shores. *Geomorphology*, vol. 48, p. 23-50.
- STEPHENSON, W. J. (1997) – Improving the Traversing Micro-Erosion Meter. *Journal of Coastal Research*, vol. 13 (1), p. 236-241.
- STEPHENSON, W. J. (2000) – Shore platforms: a neglected coastal feature? *Progress in Physical Geography*, 24 (3), p. 311-327.
- STEPHENSON, W. J.; BRANDER, R. W. (2003) – Coastal geomorphology into the twenty-first century. *Progress in Physical Geography*, vol. 27 (4), p. 607-623.
- STEPHENSON, W. J.; FINLAYSON, B. L. (2009) – Measuring erosion with the micro-erosion meter – Contributions to understanding landform evolution. *Earth Science Reviews*, vol. 95, p. 53-62.
- STEPHENSON, W. J.; KIRK, R. M. (2000a) – Development of shore platforms on Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. Part I. The role of waves. *Geomorphology*, vol. 32, p. 21-41.
- STEPHENSON, W. J.; KIRK, R. M. (2000b) – Development of shore platforms on Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. Part II. The role of subaerial weathering. *Geomorphology*, vol. 32, p. 43-56.
- STEPHENSON, W. J.; KIRK, R. M.; HEMMINGSEN, S. A.; HEMMINGSEN, M. A. (2010) – Decadal scale micro erosion rates on shore platforms. *Geomorphology*, vol. 114, p. 22-29.
- STERTE, A.; VAN DEN BRINK, H.; DE VRIES, H.; HAARSMA, R.; VAN MEIJGAARD, E. (2009) – An ensemble study of extreme storm surge related water levels in the North Sea in a changing climate. *Ocean Science*, vol. 5, p. 369-378.
- SUNAMURA, T. (1992) – Geomorphology of rocky coasts. John Wiley & Sons, Chichester, 302 p.
- TABORDA, R.; DIAS, J.A. (1992) – Análise da sobrelevação do mar de origem meteorológica durante os temporais de Fevereiro/Março de 1978 e Dezembro de 1998. *Geonovas*, Nº Especial 1 “A Geologia e o Ambiente”, p. 89-97.
- THORNTON, L. E.; STEPHENSON, W. J. (2006) – Rock Strength: A control of shore platform elevation. *Journal of Coastal Research*, vol 22 (1), p. 224-231.
- TRENHAILE, A. S. (1980) – Shore platforms: a neglected feature. *Progress in Physical Geography*, vol. 4, p. 1-23.
- TRENHAILE, A. S. (1997) – Coastal Dynamics and Landforms. Clarendon Press, Oxford, New York. 368 p.
- TRENHAILE, A. S. (2002) – Rock coasts, with particular emphasis on shore platforms. *Geomorphology*, vol. 48, p 7-22.
- TRINDADE, J. & RAMOS-PEREIRA, A. (2009) – Sediment Textural Distribution on Beach Profiles in a Rocky Coast. (Estremadura – Portugal). *Journal of Coastal Research*. SI 56, p. 138-142.

- TRINDADE, J., NEVES, M.; RAMOS-PEREIRA, A.; GUSMÃO, M. F. (2009) – Desenvolvimento de metodologia específica para levantamentos topográficos detalhados em plataformas rochosas de sopé. *Revista da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, IV Congresso Nacional de Geomorfologia, Braga, vol VI, p. 57-62.
- TRINDADE, J., RAMOS-PEREIRA, A.; METROGOS, R. (2006) – Aquisição de dados sobre a dinâmica de praias em diversas escalas temporais. Exemplos no litoral da Estremadura. *Revista da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, vol. 3, APGeom, 2006, p. 85-91.
- TRINDADE, J., RAMOS-PEREIRA, A.; NEVES, M. (2008) – Amplitude da morfodinâmica de praias da Estremadura, na sequência de episódios de elevada energia hidrodinâmica. *Revista da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, vol. 6, APGeom, 2008, p. 63-70.
- TRUDGIL, S., HIGH, C.; HANNA, F. (1981) – Improvements to the Micro-Erosion Meter. British Geomorphological Research Group Technical Bulletin, 29, p. 3-17.
- TWIDALE, C. R.; BOURNE, J. A.; VIDAL ROMANI, J. R. (2005) – Beach etching and shore platforms. *Geomorphology*, vol. 67, p. 47-61.
- WEISSE, R.; PLÜB, A. (2006) – Storm-related sea level variations along the North Sea coast as simulated by a high-resolution model 1958-2002. *Ocean Dynamics*, vol. 56, p. 16-25.
- WELLS, T.; HANCOCK, G.; FREYER, J. (2008) – Weathering rates of sandstone in a semi-arid environment (Hunter Valley, Australia). *Environmental Geology*, vol. 54, p. 1047-1057.
- WOTH, K.; WEISSE, R.; VON STORCH, H. (2006) – Climate change and North Sea storm surge extremes: an ensemble study of storm surges extremes expected in a changed climate projected by four different regional climate models. *Ocean Dynamics*, vol. 56, p. 3-15.
- YAGIZ, S. (2009) – Predicting uniaxial compressive strength, modulus of elasticity and index properties of rocks using the Schmidt hammer. *Bull Engeneering Geology Environment*, vol. 68, p. 55-63.
- ZBYSZEMSKI, G., MOITINHO D'ALMEIDA, F.; TORRE DE ASSUNÇÃO. C. (1955) – Notícia Explicativa da folha 30-C, Torres Vedras. Serviços Geológicos de Portugal. Carta Geológica de Portugal 1:50000. Lisboa, 34 p.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1: Tipos de plataforma rochosa de sopé. A) Tipo A, b) Tipo B e c) <i>plunging cliff</i> (arriba mergulhante). Adaptado de Sunamura, 1992.	4
Fig. 1.2: Tipo de movimentos de massa: a) desabamento, b) balançamento, c1) deslizamento planar, c2) deslizamento rotacional e d) fluxo ( <i>flow</i> ). Adaptado de Sunamura, 1992.	7
Fig. 1.3: Factores que afectam a erosão da base da arriba. Adaptado de Sunamura, 1992.	8
Fig. 1.4: Morfologias das arribas. (1) – coluna de rocha homogénea; (2) – coluna de rocha resistente no topo; (3) – coluna de rocha resistente na base; (a) a erosão marinha é muito maior que a meteorização; (b) a erosão marinha é maior que a meteorização; (c) a erosão marinha é igual à meteorização; (d) a erosão marinha é inferior à meteorização. (adaptado de Emery and Kuhn, 1982, <i>in</i> Schwartz, 2005).	11
Fig. 2.1: Enquadramento da área de estudo. Extracto da Carta Militar 388. Fonte: Instituto Geográfico do Exército.	12
Fig. 2.2: Enquadramento geográfico e tectónico da Bacia Lusitaniana e de outras bacias da Margem Ocidental Ibérica. Adaptado de Kullberg, <i>et al.</i> (2006).	13
Fig. 2.3: Enquadramento geológico da Ericeira. Adaptado da Carta Geológica 1:50000.	15
Fig. 2.4: Batimetria da plataforma continental da Estremadura. Fonte: Inst. Geográfico do Exército.	15
Fig. 2.5: Localização das Estações Climatológicas. Fonte: Instituto Geográfico do Exército.	16
Fig. 2.6: Percentagem de observações anuais dos vários rumos de vento na Est. Clim. do Cabo da Roca. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.	17
Fig. 2.7: Percentagem de observações mensais dos rumos do vento N+NW, na Est. Clim. do Cabo da Roca. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.	17
Fig. 2.8: Percentagem de observações dos vários rumos de vento na Estação Climatológica do Cabo da Roca, a) no Inverno; b) na Primavera; c) no Verão e d) no Outono. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.	17
Fig. 2.9: Velocidade média do vento (km/h) ao longo do ano, na Est. Clim. do Cabo da Roca: todos os rumos (Linha Anual), rumos N (linha N) e NW (linha NW). Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.	18
Fig. 2.10: Percentagem de observações anuais dos vários rumos de vento na Est. Clim. do Cabo Carvoeiro. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.	18
Fig. 2.11: Percentagem de observações anuais dos rumos do vento N+NW, na Est. Clim. do Cabo Carvoeiro. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.	18
Fig. 2.12: Percentagem de observações dos vários rumos de vento na Estação Climatológica do Cabo Carvoeiro, a) no Inverno, b) na Primavera, c) no Verão e d) no Outono. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.	19
Fig. 2.13 Velocidade média do vento (km/h) ao longo do ano, na Est. Clim. do Cabo Carvoeiro: todos os rumos (Linha Anual), rumos N (linha N) e NW (linha NW). Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.	19
Fig. 2.14: Número médio mensal de dias com nevoeiro nas Estações climatológicas do Cabo da Roca e do Cabo Carvoeiro. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.	20

Fig. 2.15: Temperaturas mensais médias, máximas médias, mínimas médias, máximas absolutas e mínimas absolutas no período de 1951-1980 nas Estações Climatológicas do (a) Cabo da Roca e do (b) Cabo Carvoeiro. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.	20
Fig. 2.16: Precipitações totais ao longo do ano, no período de 1951-1980 nas Estações Climatológicas do a) Cabo da Roca e b) Cabo do Carvoeiro. Fonte: Normais Climatológicas de 1951-1980.	22
Fig. 2.17: Rede hidrográfica envolvente à área de estudo. Fonte: Instituto Geográfico do Exército	23
Fig. 2.18: Foz do Rio Lizandro em (a) 1960 à escala 1:8.000 e (b) 1965 à escala 1:15000. Fonte Instituto Geográfico Português.	23
Fig. 2.19: Agitação marítima registada na bóia ondógrafa de Sines para o período de Março de 2008 a Agosto de 2009. Fonte Instituto Hidrográfico.	25
Fig. 2.20: Direcção da ondulação registada na bóia ondógrafa de Sines, para o período de Março de 2008 a Agosto de 2009. Fonte Instituto Hidrográfico.	25
Fig. 3.1: Levantamentos de campo com auxílio de dGPS. 13 de Novembro de 2008.	29
Fig. 3.2: Levantamentos de campo com auxílio de dGPS e ET. Definição do limite de fiabilidade.	30
Fig. 3.3. Levantamento de praias de praia transversais à linha de costa. 14 Janeiro de 2009.	31
Fig. 3.4. a) Forma geométrica equivalente à forma da acumulação de material; b) detalhe da área triangular. L – comprimento; c – largura; a – hipotenusa; b – altura; a1 – cat. adj. do triângulo rectângulo 1; a2 – cat. adj. do triângulo rectângulo 2.	32
Fig. 3.5: a) Desenho detalhado do TMEM desenvolvido, A – plataforma metálica, B – suporte do comparador; b) comparador Sylvac; Adpatado de Neves, <i>et al</i> , 2001. c) pormenor do TMEM utilizado em campo, fotografia de 22 de Julho de 2009.	36
Fig. 3.6: Localização das áreas de medição.	36
Fig. 3.7: Ábaco para estimar a resistência à compressão das rochas através do Martelo de Schmidt (Tipo L). (Hoek e Bray, 1981, <i>in</i> Sunamura, 1992).	38
Fig. 3.8: Esquema de um aparelho de corte directo. Adaptado de Bromhead (1986) e Matos Fernandes (2006).	43
Fig. 4.1: Área de estudo – Foz do Lizandro - Malhadinha. Excerto do Ortofotomapa de 2007. Fonte: Instituto Geográfico Português.	46
Fig. 4.2: Esboço geomorfológico da área de estudo.	47
Fig. 4.3: Fotografias aéreas não rectificadas e ortofotomapa. Traçado do topo da arriba (a laranja) a) Fotografia de 1960, b) Fotografia de 1982 e c) Ortofotomapa 2007. Fonte: Instituto Geográfico Português.	49
Fig. 4.4: Coluna lito-estratigráfica e composição litológica das unidades identificadas.	50
Fig. 4.5: Perfil esquemático longitudinal da arriba, com orientação N-S. Legenda: 1 - Margas; 2 - Calcário Margoso; 3 - Arenitos, 4 - Filão de material alterado; 5 - Filão de dolerito, 6 - Pontos de escoamento; 7 - Material detrítico alterado.	51
Fig. 4.6: Exemplo das discontinuidades existentes na camada de calcários C0.	52
Fig. 4.7: Detalhe da rede de discontinuidades de C0.	53
Fig. 4.8: a) detalhe da discontinuidade com orientação E-W; b) detalhe da discontinuidade com	54

orientação N-S gráfico de dispersão de volume dos blocos.

Fig. 4.9: Pormenor das camadas salientes da base da arriba.	54
Fig.4.10: Pormenor da rede de descontinuidades da unidade C4.	54
Fig. 4.11: Valores de densidade específica e de porosidade obtidos para os calcários margosos (C0, C6 e C8) e valores típicos para calcários puros apresentados por Farnen (1968) <i>in</i> Rocha (1981).	57
Fig. 4.12: Variação lateral dos valores de ressalto para C0, C6 e C8.	57
Fig.4.13: Variação lateral dos valores de peso específico para C0, C6 e C8.	58
Fig. 4.14: Divisão em sectores e principais características. hA – altura da arriba; DecA – declive da arriba.	60
Fig.4.15: Arriba do Sistema Praia-Arriba - Malhadinha.	61
Fig. 4.16: Pormenor acumulação de depósitos de vertentes com diferentes volumes.	62
Fig. 4.17: Gráfico que representa as percentagens de diâmetro da partícula.	62
Fig. 4.18: Pormenor das unidades subjacentes a C0: Cz e Cy. C0 – calcário margoso; Cz – margas; Cy – arenito.	63
Fig. 4.19: Histograma que relaciona a resistência à compressão uniaxial com a frequência de amostras margosas saturadas.	65
Fig. 4.20: Histograma que relaciona a resistência à tracção indirecta com a frequência de amostras margosas saturadas. Barra laranja, valores anómalos.	65
Fig. 4.21: Relação entre a tensão normal e a tensão de corte para as amostras Cz saturadas.	66
Fig. 4.22: Detalhe do depósito de blocos na base da arriba.	66
Fig. 4.23: Detalhe da acumulação de blocos.	67
Fig. 4.24: Detalhe do depósito de blocos na base da arriba, sobre C0 e nas proximidades do escoamento da nascente.	67
Fig. 4.25: Diferentes perfis transversais à linha de costa e identificação dos perfis. Ortofotomapa 2007. Fonte: Instituto Geográfico Português.	68
Fig. 4.26: Detalhe longitudinal do perfil “Ribeira”.	68
Fig.4.27: Perfil esquemático transversal à linha de costa do sector.	70
Fig. 4.28: Valores de densidade específica e de porosidade obtidos para os arenitos (Cy e C?) e valores típicos para calcários puros apresentados por Farnen (1968) <i>in</i> Rocha (1981).	71
Fig. 4.29: Gráfico que relaciona o peso volúmico seco das rochas com a resistência à compressão uniaxial.	71
Fig. 4.30: Pormenores do Sector Plataforma-Arriba.	74
Fig. 4.31: a) detalhe da colonização biológica na plataforma rochosa de sopé, b) detalhe do encaixe do filão.	74
Fig. 4.32: Sistema plataforma-arriba dividido em áreas. Fonte: Instituto Geográfico Português.	76

Fig. 4.33: Detalhe da plataforma rochosa de sopé dos blocos desagregados.	76
Fig. 4.34: Pormenor das micromorfologias da plataforma rochosa de sopé. 1) área plana, 2) área dos cabeços residuais.	77
Fig. 4.35: Pormenor da plataforma cortada transversalmente por dois filões de material diferente.	77
Fig. 4.36: Pormenor do preenchimento do encaixe do filão.	78
Fig. 4.37. Pormenor do filão sobreelevado. a) área Norte, b) área Sul e c) esboço esquemático longitudinal do filão sobreelevado. 1 – plataforma rochosa de sopé, calcário margoso; 2- acumulação de areia de praia; 3 – filão de dolerito; 4 – filão alterado.	78
Fig.4.38: Pormenor dos favos de mel.	79
Fig. 4.39: a) Identificação das áreas de monitorização, b) perfil transversal à linha de costa com identificação e localização das áreas de monitorização.	80
Fig. 4.40: Modelos digitais de terreno (realizados em <i>Surfer</i> ) da topografia e taxas de rebaixamento das áreas de monitorização de TMEM.	81
Fig. 4.41 Taxas anuais de rebaixamento da plataforma rochosa de sopé, relativas ao período de Setembro 2008 – Maio de 2009.	81
Fig. 4.42: Temperaturas máximas e mínimas e precipitações mensais para o período relativo a Setembro de 2008 a Maio de 2009. Fonte: Instituto de Meteorologia e Geofísico de Portugal. Estação Cabo da Roca.	82
Fig. 4.43: Percentagens de teor em carbonato e composição do calcário margoso, C0.	83
Fig. 4.44: Altura significativa das ondas e altura máxima em Sines, entre 1 de Setembro de 2008 e 31 de Maio de 2009. Fonte: Instituto Hidrográfico.	83
Fig. 4.45: Altura diária máxima das ondas e períodos de marés vivas com preiamar a uma altura superior a 3,0 metros, entre 1 de Setembro de 2008 e 31 de Maio de 2009. Fonte: Instituto Hidrográfico.	84
Fig. 4.46: Detalhes da acumulação de blocos na base da arriba.	85
Fig. 4.47: Perfil transversal à linha de costa e identificação do local do perfil. Ortofotomapa 2007. Fonte: Instituto Geográfico Português.	85
Fig. 4.4 8: Perfil transversal à linha de costa com a representação do filão. Identificação do local do perfil. Ortofotomapa de 2007. Fonte: Instituto Geográfico Português.	85
Fig. 4.49: Perfis de praia levantados em datas diferentes e relação entre eles para o conhecimento do volume de areias envolvido ao longo do tempo. Identificação do local dos perfis. Ortofotomapas 2007 – Instituto Geográfico Português.	86
Fig. 4.50: Direcção da ondulação na bóia de Sines no período de 5 a 12 de Janeiro de 2009. Fonte Instituto Hidrográfico.	87
Fig. 4.51: Direcção da ondulação na bóia de Sines no período de 4 a 11 de Fevereiro de 2009. Fonte Instituto Hidrográfico.	87
Fig. 4.52: Direcção da ondulação na bóia de Sines no período de 16 a 23 Junho de 2009. Fonte Instituto Hidrográfico.	88
Fig. 4.53: Curvas da análise de percentagens relacionadas com o diâmetro da partícula.	88
Fig. 4.54: a), b) e c) Detalhe da acumulação de blocos na base da arriba.	89

Fig. 4.55: Perfis transversais do sector, a) Perfil <i>Ea</i> , b) Perfil <i>Eb</i> . Identificação dos locais dos perfis. Ortofotomapa de 2007. Fonte: Instituto Geográfico Português.	89
Fig. 4.56: Pormenor de <i>Kluftkarren</i> .	90
Fig. 4.57: Pormenor do degrau entre camadas e detalhe da erosão basal.	90
Fig. 4.58: Detalhe da plataforma rochosa de sopé.	91
Fig. 4.59: Detalhe da acumulação de blocos na base da arriba.	91
Fig. 4.60: Perfil transversal do sector e identificação do local do perfil. Ortofotomapa de 2007. Fonte: Instituto Geográfico Português.	91
Fig. 4.61: Histograma que relaciona o volume de material desabado por frequência.	92
Fig. 4.62: Pormenor das áreas deprimidas e acumulação de sedimentos, na zona Sul do filão sobre-elevado.	93
Fig. 4.63: Esquema representativo dos movimentos principais.	96
Fig. 4.64: Sistema Intermitente.	99
Fig. 4.65: Gráfico de percentagens face à dimensão das partículas.	100
Fig. 4.66: Pormenor da acumulação de blocos na base da arriba.	100
Fig. 4.67: Perfil transversal do sector Intermitente. Identificação do perfil no Ortofotomapa. Ortofotomapa 2007. Fonte: Instituto Geográfico Português.	101

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1: Análise estatística das temperaturas anuais para o Cabo da Roca e para o Cabo Carvoeiro.	21
Quadro 3.1: Exemplo do quadro utilizado em campo para a inventariação dos depósitos acumulados na base da arriba.	32
Quadro 3.2: Exemplo do quadro utilizado em campo para a inventariação da arriba em cada sector.	32
Quadro 3.3: Exemplo do quadro utilizado em campo para a inventariação da família de descontinuidades.	32
Quadro 3.4: Exemplo do quadro utilizado em campo para a inventariação dos movimentos de massa.	33
Quadro 3.5: Exemplo do quadro utilizado em gabinete para o cálculo das características dos movimentos de massa.	35
Quadro 3.6: Terminologia aplicada para as áreas de monitorização do TMEM.	36
Quadro 3.7: Exemplo do quadro utilizado em laboratório para registar e calcular as propriedades índice das rochas.	40
Quadro 4.1: Distâncias entre o topo da arriba e a estrada. Identificação dos perfis. Fonte: Instituto	49

Quadro 4.2: Características da rede de descontinuidades do filão sobreelevado.	51
Quadro 4.3: Família de descontinuidades na camada C0.	52
Quadro 4.4: Caracterização da família de descontinuidades da unidade C0.	53
Quadro 4.5: Características da rede de descontinuidades identificadas em C0.	54
Quadro 4.6: Características das descontinuidades.	55
Quadro 4.7: Resumo das propriedades índice das camadas Cy, C0, C6, C? e C8.	56
Quadro 4.8: Resumo dos valores de ressalto, R, do Martelo de Schmidt para Cy C0, C6, C?, C8 e FS.	57
Quadro 4.9: Valores de ressalto, R, para as unidades C0, C6 e C8.	58
Quadro 4.10: Propriedades índice da unidade C0 e C6.	58
Quadro 4.11: Valores de ressalto com o martelo de Schmidt.	59
Quadro 4.12: As médias das características das areias da Praia da Malhadinha.	62
Quadro 4.13: Resumo das propriedades índice da camada Cy e C?.	63
Quadro 4.14: Resumo dos valores de ressalto, R, do Martelo de Schmidt.	64
Quadro 4.15: Resumo estatístico das propriedades índice das bancadas Cy, C0 e C?.	64
Quadro 4.16: Resumo estatístico do valor de ressalto e compressão uniaxial estimada das bancadas C?, C0 e Cy.	64
Quadro 4.17: Resumo estatístico do valor de ressalto, R, compressão uniaxial e Resistência à Tracção	65
Quadro 4.18: Resumo das características dos depósitos resultantes de movimentos de massa.	69
Quadro 4.19: Variação das características da arriba neste sector.	75
Quadro 4.20: Resumo das taxas de rebaixamento	80
Quadro 4.21: Valores climáticos mensais relativo ao período de Setembro 2008 a Maio de 2009. Fonte: Instituto de Meteorologia e Geofísico de Portugal. Estação Cabo da Roca.	82
Quadro 4.22: Análise granulométrica das areias recolhidas nos perfis de praia.	88
Quadro 4.23: Caracterização dos movimentos de massa identificados.	92
Quadro 4.24. Análise estatística da granulometria.	100
Quadro 4.25: Características dos movimentos de massa identificados.	101

**ANEXOS**

---

## ANEXOS I – GEORREFERÊNCIAÇÃO

### FOTOGRAFIA AÉREA DE 1960

Pontos de controlo	Fonte X	Fonte Y	X	Y	Valor residual
1	1045,673846	-827,744435	-110866,203035	-79610,784929	1,01807
2	1163,038719	-384,606142	-110764,601407	-79204,580786	0,95152
3	893,400749	-24,782837	-111011,012791	-78861,863067	0,74771
4	966,029896	-206,529569	-110944,594628	-79031,229382	1,31607
5	1055,636335	-477,690792	-110863,564470	-79288,931853	2,81473
Erro quadrático					1,55921

### FOTOGRAFIA AÉREA DE 1982

Pontos de controlo	Fonte X	Fonte Y	X	Y	Valor residual
1	480,349052	-609,204593	-111015,160895	-79517,332842	2,55782
2	480,430574	-143,991156	-111008,122852	-78864,293347	0,96624
3	589,424220	-675,218222	-110867,004862	-79613,610001	2,21593
4	867,604730	-123,533654	-110460,545297	-78838,454841	0,62435
Erro quadrático					1,78719

## ANEXOS II – ENSAIOS GEOTÉCNICOS

### ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL

ID Provete	Dia (cm)	r (cm)	h (cm)	Fr (kN)	Ab (m <sup>2</sup> )	RCU (kN/m <sup>2</sup> )	RCU (MPa)
1	4,5	2,25	9,5	4,27	0,0032	1342,40	1,34
2	4,5	2,25	9,5	2,89	0,0032	908,56	0,909
3	4,5	2,25	9	4,55	0,0032	1430,43	1,430
4	4,5	2,25	8,9	4,64	0,0032	1458,72	1,458
5	4,5	2,25	10,3	3,4	0,0032	1068,89	1,069
6	4,5	2,25	9,1	1,98	0,0032	622,47	0,622
7	4,5	2,25	7,8	4,33	0,0032	1361,27	1,361
8	4,5	2,25	9,1	3,29	0,0032	1034,31	1,034
9	4,5	2,25	12,7	8,57	0,0032	2694,24	2,694
10	4,5	2,25	12,6	7,25	0,0032	2279,26	2,279
11	4,5	2,25	11,8	5,85	0,0032	1839,12	1,839
12	4,5	2,25	10,8	4,96	0,0032	1559,32	1,55
13	4,5	2,25	11	4,26	0,0032	1339,26	1,339
14	4,5	2,25	11,8	5,6	0,0032	1760,53	1,761
15	4,5	2,25	11,5	7,66	0,0032	2408,15	2,408
16	4,5	2,25	11,2	2,79	0,0032	877,12	0,877

Legenda:  
Dia – diâmetro  
r – raio  
h – altura

Fr – força de rotura  
Ab – área da base  
RCU – resistência à compressão uniaxial

### ENSAIO BRASILEIRO

ID Provete	Dia (cm)	h (cm)	$\tau$ (kN)	$2\tau$	$\sigma\tau$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma\tau$ (kN/m <sup>2</sup> ou MPa)
1	4,5	2,7	0,62	1,24	324,859	0,325
2	4,5	2,9	0,67	1,34	326,847	0,327
3	4,5	3	0,89	1,78	419,697	0,420
4	4,5	2,7	1,13	2,26	592,083	0,592
5	4,5	4	0,71	1,42	251,111	0,251
6	4,5	2,5	0,61	1,22	345,189	0,345
7	4,5	3,5	0,94	1,88	379,951	0,380
8	4,5	2,3	0,3	0,6	184,527	0,185
9	4,5	3,7	0,72	1,44	275,295	0,275
10	4,5	2,7	0,8	1,6	419,174	0,419
11	4,5	2,5	0,61	1,22	345,189	0,345

12	4,5	2,5	0,72	1,44	407,437	0,407
13	4,5	3	0,38	0,76	179,197	0,179
14	4,5	2,5	0,01	0,02	9,431	0,009
15	4,5	3,1	0,82	1,64	552,411	0,552
16	4,5	1,4	0,08	0,16	80,841	0,081
17	4,5	2,5	0,03	0,06	16,977	0,017
18	4,5	5,2	1,83	3,66	497,869	0,498

Legenda:

Dia – diâmetro

r – raio

h – altura

$\tau$  – força compressiva vertical

Ab – área da base

$\sigma\tau$  – resistência à tracção

ENSAIO DE CORTE DIRECTO

**Condição inicial:** Margas, Cz, saturadas, com dimensões 6x6 cm, carga: (3\*10)+4,9 Kg;  
Velocidade de corte: 0,016 mm/min

Data	Hora	Desl. Hor. (1un=0,01mm)	Des. H. (mm)	$\Delta$	Div. Anel (1div=0,002mm)	Tensão de Corte (KPa)	Deflect. V. (1div=0,002mm)	Tensão Normal (KPa)
22-01-2010	12h21						152	
22-01-2010	12h30						159	
22-01-2010	12h48						260	
26-01-2010	10h32	1350	13,5	0	0	0	281	
26-01-2010	11h03	1400	14	0,5	62	60,50	296	
26-01-2010	11h35	1450	14,5	0,5	142	138,56	298	
26-01-2010	12h12	1500	15	0,5	265	258,59	279	
26-01-2010	12h36	1550	15,5	0,5	194	189,31	195	
26-01-2010	13h04	1600	16	0,5	196	191,26	194	95,1025
26-01-2010	13h34	1650	16,5	0,5	194	189,31	179	
26-01-2010	14h00	1700	17	0,5	194	189,31	48	
26-01-2010	14h25	1750	17,5	0,5	194	189,31	34	
26-01-2010	14h55	1800	18	0,5	192	187,35	2	
26-01-2010	15h25	1850	18,5	0,5	192	187,35	71	
26-01-2010	15h55	1900	19	0,5	192	187,35	59	
26-01-2010	16h30	1950	19,5	0,5	192	187,35	2834	
26-01-2010	17h00	2000	20	0,5	192	187,35	2802	

**Condição inicial:** Margas, Cz, saturadas, com dimensões 6x6 cm, carga: (7\*10)+4,9 Kg;  
Velocidade de corte: 0,016 mm/min

Data	Hora	Desl. Hor. (1un=0,01mm)	Des. H. (mm)	$\Delta$	Div. Anel (1div=0,002mm)	Tensão de Corte (KPa)	Deflect. V. (1div=0,002mm)	Tensão Normal (KPa)
3-02-2010	10h32						1503	
3-02-2010	10h52						1788	
3-02-2010	11h02	1350	13,5	0	0	0	1790	
3-02-2010	11h32	1400	14	0,5	62	60,50	1787	
3-02-2010	12h00	1450	14,5	0,5	130	126,85	1787	
3-02-2010	12h30	1500	15	0,5	194	189,31	1786	
3-02-2010	13h00	1550	15,5	0,5	245	239,07	1767	
3-02-2010	13h30	1600	16	0,5	295	287,86	1730	204,1025
3-02-2010	14h00	1650	16,5	0,5	323	315,18	1712	
3-02-2010	14h30	1700	17	0,5	363	354,22	1687	
3-02-2010	15h00	1750	17,5	0,5	394	384,47	1663	
3-02-2010	15h30	1800	18	0,5	370	361,05	1645	
3-02-2010	16h00	1850	18,5	0,5	216	210,77	1647	
3-02-2010	16h30	1900	19	0,5	220	214,68	1646	

3-02-2010	17h00	1950	19,5	0,5	226	220,53	1646
3-02-2010	17h30	2000	20	0,5	217	211,75	1646

**Condição inicial:** Margas, Cz, saturadas, com dimensões 6x6 cm, carga: (10\*10)+4,9+(0,312) Kg;  
 Velocidade de corte: 0,016 mm/min

Data	Hora	Desl. Hor. ( $\Delta u=0,01\text{mm}$ )	Des. H. (mm)	$\Delta$	Div. Anel ( $1\text{div}=0,002\text{mm}$ )	Tensão de Corte (KPa)	Deflect. V. ( $1\text{div}=0,002\text{mm}$ )	Tensão Normal (KPa)
19-02-2010	13h30						705	
22-02-2010	10h17						745	
22-02-2010	10h50	1350	13,5	0	0	0	746	
22-02-2010	11h20	1400	14	0,5	185	180,52	810	
22-02-2010	11h50	1450	14,5	0,5	238	232,24	815	
22-02-2010	12h20	1500	15	0,5	234	228,34	842	
22-02-2010	12h50	1550	15,5	0,5	263	256,64	859	
22-02-2010	13h26	1600	16	0,5	284	277,13	870	
22-02-2010	13h56	1650	16,5	0,5	314	306,40	884	286,7027
22-02-2010	14h26	1700	17	0,5	342	333,72	906	
22-02-2010	14h56	1750	17,5	0,5	348	339,58	922	
22-02-2010	15h24	1800	18	0,5	357	348,36	958	
22-02-2010	15h50	1850	18,5	0,5	382	372,76	961	
22-02-2010	16h20	1900	19	0,5	404	394,22	961	
22-02-2010	16h50	1950	19,5	0,5	398	388,37	963	
22-02-2010	17h29	2000	20	0,5	375	365,93	977	