

INSTABILIDADE EM ARRIBAS COSTEIRAS

FILIPA MANUELA PINTO DA COSTA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Fernando Veloso Gomes

JUNHO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012- Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus pais e ao meu irmão

"You can't have a better tomorrow if you are thinking about yesterday all the time."

Charles F. Kettering

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Veloso Gomes, deixo um grande agradecimento por todo o tempo dispensado, ajuda e paciência perante as falhas e dificuldades que sempre surgiram.

À Secção de Hidráulica Recurso Hídricos e Ambiente da FEUP e ao Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos (IHRH), muito obrigada por tornarem o meu trabalho muito mais fácil. Um agradecimento especial à Dona Esmeralda Miguel e à Dona Paula Pinto do IHRH pela disponibilidade e prontidão em ajudar.

Aos meus pais por todo o apoio e motivação que me transmitiram ao longo do meu percurso académico e que por me darem imensa força. Ao meu irmão, Pedro, por se disponibilizar sempre a ajudar mesmo não percebendo nada do assunto.

Aos amigos de sempre, Renato, Liliana, Cláudia, Ricardo, Inês, Tó Luís e Joana, que acompanharam o meu percurso académico e sempre me deram a força que, por vezes, me faltou.

Aos amigos da especialidade de Hidráulica em especial ao Ricardo, Luís, João, Tó, Toni, Mark, Pimenta, Tânia e Chico por toda a ajuda e companheirismo ao longo deste último ano

Por fim um agradecimento especial à Maria que embora fisicamente esteja longe está mais perto do que imagina e mesmo a quilómetros de distância me deu o apoio fundamental para a realização desta dissertação.

RESUMO

Arriba costeira é uma forma geológica litoral, caracterizada por um abrupto encontro da terra com o mar. Formam-se escarpas na vertical que terminam ao nível do mar e encontram-se sob a ação erosiva do mar.

A instabilidade de arribas costeiras tem sido um assunto muito mediatizado nos últimos anos devido, principalmente, a acidentes em zonas balneares. Tornou-se, assim, numa necessidade, tentar prevenir esse tipo de acidentes alertando a população em geral dos perigos inerentes a esta forma particular de vertente costeira e, quando necessário, fazer intervenções de estabilidade nas mesmas.

Esta dissertação baseou-se num longo período de pesquisa, durante o qual se tentou recolher o máximo de informação possível sobre o tipo de arribas existentes em Portugal e o tipo de instabilidades a que estão sujeitas. Com as informações obtidas foi possível ter uma ideia de como é formada a costa e como é o seu comportamento. Simultaneamente, foi feito um levantamento das soluções técnicas a adoptar consoante o tipo de intervenção. Deve sempre procurar-se um equilíbrio entre estabilidade, impacto na natureza e custos associados.

Foram estudados alguns casos no Algarve, na região Centro e nos Açores onde se verificaram casos de instabilidade nas arribas e onde foi necessário recorrer a soluções técnicas para prevenir futuros colapsos.

Há que ter em conta que é natural que ocorram alguns desabamentos das arribas. Por este motivo, devem ser criadas faixas de risco ao longo da costa para evitar a construção de infraestruturas em zonas de perigo. Deve ainda sensibilizar-se as populações para o risco que correm nestas zonas, cumprindo os avisos e as sinalizações existentes.

PALAVRAS-CHAVE: arriba, instabilidade, prevenção, mitigação, proteção

ABSTRACT

Coastal cliffs are a geological form, characterized by an abrupt encounter between earth and sea. This encounter creates vertical steeps that go all the way down to sea level and are under the erosive action of the sea.

The fall of coastal cliffs has been a much mediatized subject over the last few years mainly due to accidents in beach areas. Making it necessity to try and avoid these types of accidents, warning the population about the eminent danger associated with these sorts of cliffs and, when necessary, undergoing the necessary stability corrections.

This thesis was based on a long research period, during which it was attempted to collect the maximum information possible about the different forms of cliffs existing in Portugal and their stability issues. With the information gathered it was possible to form a sketch of how the country's cost is shaped and how it behaves. At the same time, an inventory was made on different technical solutions adopted, depending on the type of intervention performed. It should always be taken into account that a balance should be sought between the stability of the cliff, the natural impact on the surroundings and the money that will be spent.

A few case studies were analyzed in Algarve, the center regions of the country and in Azores where cases of instability were detected on coastal cliffs and where technical solutions had to be made in order to prevent future accidents.

One must take in to account that it is natural for some landslides to occur, due to this fact, danger perimeters should be established along the coast in order to prevent the construction of infrastructures in dangerous areas. The populations should also be made aware of the risk concerning these areas.

KEY WORDS: coastal cliff, stability, prevention, mitigation, protection.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS 1

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS 1

1.2. OBJETIVOS 2

2. TIPOLOGIAS DE ARRIBAS E TIPOLOGIAS DE INSTABILIDADES 3

2.1. TIPOLOGIAS DE ARRIBAS 5

2.1.1. ARRIBAS ALCANTILADAS 8

2.1.2. ARRIBAS NÃO ALCANTILADAS 10

2.1.3. MORFOLOGIAS SINGULARES 10

2.2. TIPOLOGIAS DE INSTABILIDADES 11

2.2.1. TIPOS DE ONDAS NA BASE DAS ARRIBAS 13

2.2.1.1. Fenómenos de alteração e deformação da agitação na propagação em direção à costa 15

2.2.2. CAUSAS DE MOVIMENTOS DE MASSA DAS VERTENTES 17

2.2.2.1. Fenómenos de ação rápida 19

2.2.2.2. Fenómenos de ação lenta 20

2.3. ESTABILIDADE GLOBAL DOS MACIÇOS TERROSOS 20

2.3.1. TEOREMAS DA REGIÃO INFERIOR E DA REGIÃO SUPERIOR 20

2.3.2. MÉTODOS DE EQUILÍBRIO LIMITE 23

2.3.2.1. Método das fatias 23

2.3.3. ESTABILIDADE E ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES NATURAIS 25

2.3.3.1. Interpretação dos mecanismos de rotura em desenvolvimento 26

3. CASOS DE ESTUDO NO ALGARVE, REGIÃO CENTRO E AÇORES.. 27

3.1. REGIÃO CENTRO..... 27

3.1.1. TROÇO ENTRE CABO ESPICHEL E SETÚBAL 27

3.1.1.1. Praia da Califórnia 28

3.1.1.2. Praia da Anixa 29

3.1.1.3. Praia da Comenda 31

3.1.1.4. Porto de Abrigo de Sesimbra 32

3.2. ALGARVE	34
3.2.1. PRAIA MARIA LUÍSA, ALBUFEIRA	34
3.3. SÃO MIGUEL, REGIÃO AUTÓNOMA DOS AÇORES	42
3.3.1. S. MIGUEL	43
3.3.1.1. Estabilidade do litoral	45
3.3.1.2. Faixa de risco	49
3.3.1.3. Monitorização de arribas e vertentes nos Açores	49
3.3.1.4. Plano de Ordenamento da Orla Costeira de São Miguel Costa Sul	50
 4. PREVENÇÃO, MITIGAÇÃO E PROTECÇÃO	53
4.1. ORDENAMENTO	53
4.1.1. DEFINIÇÃO E APLICAÇÃO DAS FAIXAS DE RISCO	53
4.1.2. MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO/MITIGAÇÃO DO RISCO	56
4.2. SOLUÇÕES TÉCNICAS	58
4.2.1. VEGETAÇÃO.....	58
4.2.2. REALIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS NO SOPÉ DA ARRIBA.....	60
4.2.3. REDEFINIÇÃO DOS PERFIS DA ARRIBA	61
4.2.4. SISTEMAS DE DRENAGEM.....	62
4.2.5. SISTEMAS DE PREGAGENS (ANCORAGENS).....	63
4.2.6. GEOGRELHA REFORÇADA	64
4.2.7. CORDÕES DE ENROCAMENTO	64
4.2.8. REDES METÁLICAS DE PROTEÇÃO	65
4.2.9. BETÃO PROJETADO	67
4.2.10. MUROS DE SUPORTE EM BETÃO ARMADO NA BASE DA ARRIBA	69
4.2.11. MUROS DE GABIÕES	71
4.3. POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES	71
 5. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	73
5.1. CONCLUSÕES	73
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	74
 BIBLIOGRAFIA	75

ÍNDICE FIGURAS

Fig.1.1 – Arribas da praia das Falésias, Vilamoura.....	1
Fig.2.1 – Arriba calcária na praia do Vau.....	3
Fig.2.2 – Arribas em xistos e grauvaques da praia do Castelejo, Vila do Bispo.....	4
Fig. 2.3 - Elementos geomorfológicos das arribas.....	4
Fig. 2.4 – Parâmetros dimensionais do movimento de massa das arribas.....	5
Fig.2.5 - Representação esquemática dos três estágios principais da evolução de uma arriba.....	5
Fig.2.6 - Esquema de perfis de arribas ativas.....	6
Fig.2.7 - Esquema de uma arriba mergulhante.....	7
Fig. 2.8 - Tipos e subtipos de arribas.....	7
Fig.2.9 - Perfis característicos de arribas com litologia homogénea.....	8
Fig.2.10 - Perfis característicos de arribas com litologia heterogénea.....	9
Fig.2.11 - Perfis característicos de arribas não alcantiladas.....	10
Fig.2.12 - Exemplo de algar no Algarve.....	10
Fig.2.13 - Método de evolução das arribas onde se verificam grandes movimentos de massa, com formação de cones de detritos com grande longevidade (fajãs).....	11
Fig.2.14 - Efeito da erosão na base das arribas calcárias.....	12
Fig.2.15 - Movimentos de massa nas arribas.....	12
Fig.2.16 - Sistema de recuo das arribas.....	13
Fig.2.17 - Parâmetros elementares as ondas.....	14
Fig.2.18 - Tipos de ondas incidentes na base das arribas: (a) ondas estacionárias; (b) rebentação de ondas; (c) ondas após rebentação.....	15
Fig.2.19 - Refração das ondas.....	16
Fig.2.20 - Representação das cristas das ondas e das ortogonais.....	16
Fig.2.21 - Campo de golf de Vale do Lobo.....	18
Fig.2.22 - Relação entre a fadiga dos materiais, o número de ciclos de pressão e a existência ou não de água.....	19
Fig.2.23 - Localização do ponto com maior tensão de corte na arriba.....	21
Fig.2.24 - Mecanismo de colapso cinematicamente admissível.....	22
Fig.2.25 - Método das fatias – massa de terras em análise.....	24
Fig.2.26 - Método das fatias – fatia genérica com as forças aplicadas.....	24
Fig.2.27 - Esquema da massa potencialmente instável num talude natural, mostrando para as diversas fatias a decomposição do peso segundo as direções normal e tangencial à base.....	25
Fig.2.28 - Faseamento típico dos estudos de estabilização de taludes naturais.....	26
Fig.3.1 - Localização da Península de Setúbal.....	27
Fig.3.2 - Mapa com a localização da praia da Califórnia.....	28
Fig.3.3 - Fotografia da praia da Califórnia em Sesimbra.....	29
Fig.3.4 – Pormenores das arribas da praia da Califórnia.....	29
Fig.3.5 – Mapa com a localização da praia da Anixa.....	30
Fig.3.6 – Fotografia aérea da praia da Anixa em Sesimbra.....	30
Fig.3.7 – Pormenores das arribas da praia da Anixa.....	30
Fig.3.8 - Mapa com a localização da praia da Comenda.....	31
Fig.3.9 – Fotografia da Praia da Comenda, Setúbal.....	31

Fig.3.10 – Pormenores da praia da Comenda.....	32
Fig.3.11 - Mapa com a localização da praia do porto de Abrigo.....	32
Fig.3.12 – Porto de Abrigo em Sesimbra.....	33
Fig.3.13 - Pormenores do Porto de Abrigo.....	33
Fig.3.14 – Fotografia aérea da praia Maria Luísa (1947).....	34
Fig.3.15 - Fotografia aérea da praia Maria Luísa (1974).....	35
Fig.3.16 - Fotografia aérea da praia Maria Luísa (1991).....	35
Fig.3.17 - Fotografia aérea da praia Maria Luísa (2002).....	36
Fig.3.18 - Fotografia aérea da praia Maria Luísa (2007).....	36
Fig.3.19 – Colapso no extremo oeste da praia Maria Luísa em 28 abril de 2005.....	37
Fig.3.20 – Colapso no extremo este da praia Maria Luísa em 28 março de 2008.....	37
Fig.3.21 – Desmonte na praia Maria Luísa a 15 de Maio de 2008.....	38
Fig.3.22 – Extremo oeste da praia Maria Luísa em 2 Maio 2006.....	39
Fig.3.23 – Vista da ligação do leixão a terra que iria ser desmontado em 2007.....	39
Fig.3.24 – Extremo oeste da praia Maria Luísa em 5 Junho de 2008.....	40
Fig.3.25 - Extremo oeste da praia Maria Luísa em 24 Agosto de 2009.....	40
Fig.3.26 – Placa referente à faixa de risco da praia Maria Luísa.....	41
Fig.3.27 – Fotografia da sinalética à entrada da praia (27/08/2009).....	41
Fig.3.28 – Escuada lávica que após a queda da arriba avançou mar adentro formando um pequeno delta lávico (Queimada, S. Jorge).....	42
Fig.3.29 – Materiais brandos de escoadas piroclástica desagregadas expostos à erosão intensa do mar (Ilha do Faial, Açores).....	42
Fig.3.30 – Mecanismos de evolução as arribas na ilha de S. Miguel (MB- material brando; MR – material resistente).....	43
Fig.3.31 – Arriba junto à Água d’Alto e pormenor de erosão na base.....	43
Fig.3.32 – Aspeto da arriba junto à praia da Baixa Areia e da arriba junto à Relva.....	44
Fig.3.33 – Aspeto da arriba junto à Ponta da Graça e aspeto da arriba a oriente do Faial da Terra.....	44
Fig.3.34 – Aspeto da arriba na Caloura e da arriba a ocidente do Faial da Terra.....	45
Fig.3.35 – Identificação dos troços.....	45
Fig.3.36 – Aspeto geral da arriba e pressão urbanística local (Feteiras, Ponta Delgada) e estrada com localização inadequada e muro de suporte em terreno instável.....	46
Fig.3.37 – Linha de costa em Lagoa, S. Miguel.....	46
Fig.3.38 – Praia da Baixa da Areia, Caloura.....	47
Fig.3.39 – Soco lávico entre Água d’Alto e Caloura.....	47
Fig.3.40 – Arriba em Água d’Alto e pressão urbanística em zona instável.....	48
Fig.3.41 – Arriba entre a Ribeira Quente a Ponta da Graça e arriba entre a Ponta da Graça e Vila Franca do Campo.....	48
Fig.3.42 – Troço entre Ribeira Quente e Faial da Terra.....	48
Fig.3.43 – Deslizamento na arriba (Faial da Terra – Fajã do Calhau).....	49
Fig.3. 44 – Placa da empreitada de estabilização do talude adjacente à Praia da Ribeira Quente, Povoação – São Miguel.....	51
Fig.4.1 – Perfil esquemático da representação da faixa de risco.....	54
Fig.4.2 – Representação espacial dos três tipos de faixas de risco.....	54
Fig.4.3 - Praia do Amado (Algarve). A sinalética afixada indica as áreas de risco.....	55

Fig.4.4 - Praia do Alvor nascente (Algarve). Todo o areal fica em zona de risco mesmo em baixa mar.....	55
Fig.4.5 – Sinalização de perigo na praia da Falésia- Açoteias.....	56
Fig.4.6 – Sinalização de perigo de instabilidade de massa na praia da Ferraria em S. Miguel, Açores.....	56
Fig.4.7 – Placa de sinalização que alerta para o não estacionamento na arriba.....	57
Fig.4.8 – Medidas de minimização do risco de queda de blocos.....	57
Fig.4.9 – Esquema representativo do tipo de vegetação a utilizar em arribas costeiras.....	59
Fig.4.10 - Praia de Albufeira nascente (Algarve). Proteção de pé do talude de uma arriba com estruturas de madeira constituindo plataformas com vegetação.....	60
Fig.4.11 - Praia de Albufeira poente (Algarve). Areal resultante da alimentação artificial com areias para proteção das arribas e aumento da área balnear.....	61
Fig.4.12- Esquema da redefinição dos perfis de uma arriba.....	62
Fig.4.13 - Esquema do processo do sistema de drenagem por drenos sub-horizontais.....	62
Fig.4.14 - Esquema do processo das ancoragens por cavilhas metálicas.....	63
Fig.4.15 - Praia de Albufeira nascente (Algarve). Proteção da arriba com betão projetado, ancoragens, estrutura vigada de betão armado e estruturas de madeira constituindo plataformas com vegetação.....	63
Fig.4.16 - Esquema do processo de uma geogrelha reforçada.....	64
Fig.4.17 - Esquema da combinação de duas soluções geotécnicas: enrocamento e contrafortes de betão.....	65
Fig.4.18 – Rede de proteção em arriba no acesso à Fajã do Calhau, S. Miguel, Açores.....	65
Fig.4.19 – Diversos tipos de proteção contra a queda de rochas.....	66
Fig.4.20 – Malha e placas de fixação utilizadas na estabilização de taludes.....	66
Fig.4.21 - Montagem da malha.....	67
Fig.4.22 – Sistema de proteção de taludes.....	67
Fig.4.23 – Pregagens e betão projetado em arribas na Ilha de S. Miguel, Açores.....	68
Fig.4.24 - Praia dos Três Castelos (Algarve). Proteção da arriba com betão projetado.....	68
Fig.4.25 – Técnica de betão projetado.....	69
Fig.4.26 – Esquema da constituição de um muro de suporte.....	69
Fig.4.27 – Proteção no pé da arriba de Porto Formoso, S. Miguel, Açores.....	70
Fig.4.28 - Praia da Rocha (Algarve). Proteção da arriba com betão projetado e muro no pé do talude.....	70
Fig.4.29 – Representação esquemática de um muro de gabiões.....	71

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Minimização de situações de risco e de impactos ambientais, sociais e económicos, Plano de monitorização (Veloso Gomes, <i>et al</i> , 2012).	50
Tabela 2 - Minimização de situações de risco e de impactos ambientais, sociais e económicos, Intervenções prioritárias (Veloso Gomes, <i>et al</i> , 2012).	50
Tabela 3 - Minimização de situações de risco e de impactos ambientais, sociais e económicos, Melhoria das condições operacionais da proteção civil (Veloso Gomes, <i>et al</i> , 2012).	50
Tabela 4 – Exemplo de um projeto de execução de proteção de uma arriba (Veloso Gomes, <i>et al</i> , 2012).	50

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ANPC – Autoridade Nacional de Protecção Civil

ARH – Administração da Região Hidrográfica

CCDR-LVT – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo

FEUP – Faculdade Engenharia da Universidade do Porto

IHRH – Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos

POOC – Planos de Ordenamento da Orla Costeira

RAA – Região Autónoma dos Açores

REN – Reserva Ecológica Nacional

TRS - Teorema da Região Superior

TRI – Teorema da Região Inferior

h_{cr} – altura crítica de um talude não suportado [m]

h – altura máxima do talude avaliada pelo TRS [m]

h_m – altura máxima do talude avaliada pelo TRI [m]

H – altura de onda [m]

a – amplitude de onda [m]

α – ângulo que define a inclinação da superfície de deslizamento em relação à horizontal [°]

R – capacidade resistente [N]

c – celeridade [m/s]

F – coeficiente global de segurança

E_{li} – componente horizontal das forças de interação da face esquerda [N]

X_{li} – componente vertical das forças de interação da face esquerda [N]

E_{ri} – componente horizontal das forças de interação da face direita [N]

X_{ri} – componente vertical das forças de interação da face direita [N]

L – comprimento de onda [m]

Δl_i – comprimento do arco correspondente à base de uma fatia de solo [m]

S – efeito das forças instabilizadoras [N]

θ – fase [s]

ω – frequência da onda [Hz]

M_S – momento das forças desfavoráveis em relação ao centro de uma superfície potencial de deslizamento ou a qualquer ponto em torno do qual se pode desenvolver um estado limite [N.m]

M_R – momento das forças resistentes em relação ao centro de uma superfície potencial de deslizamento ou a outro qualquer ponto em torno do qual se pode desenvolver um estado limite [N.m]

k – número de onda [m^{-1}]

T – período da onda [s]

W – peso da fatia, bloco, amostra [N]

γ – peso volúmico [N/m^3]

x – posição da onda na horizontal [m]

y – posição da onda na vertical [m]

d – profundidade da água [m]

Δx_i – projeção de Δl na horizontal [m]

r – raio da superfície cilíndrica [m]

c_u – resistência não drenada [kPa]

U_i – resultante da pressão da água nos poros da base da fatia [Pa]

N'_i – resultante das tensões efetivas normais à base da fatia [Pa]

T_i – resultante das tensões tangenciais na base da fatia [Pa]

η – sobrelevação da superfície [m]

δ – vetor deslocamento

1

ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Arriba costeira é uma forma geológica litoral, caracterizada por um abrupto encontro da terra com o mar. Apresentam vertentes com elevados ângulos de talude que terminam ao nível do mar ficando potencialmente submetidas à ação erosiva deste.

A agitação marítima atua nas arribas, o que por vezes pode provocar instabilidades nas paredes rochosas e até mesmo desmoronamentos.

Uma grande parte da costa portuguesa é constituída por arribas. Os ventos, a precipitação, a oscilação de maré, a ação das ondas, as grandes amplitudes térmicas, os sismos, entre outros fatores, causam o desgaste e a instabilidade dos materiais constituintes das arribas.

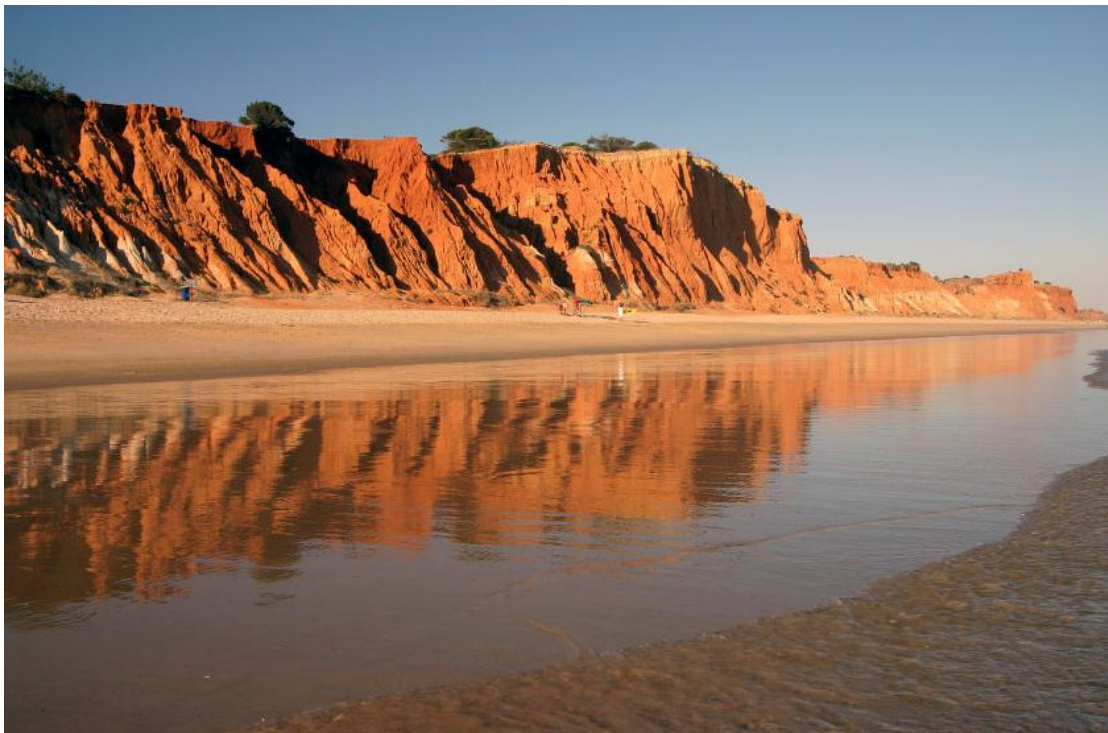


Fig. 1.1 – Arribas da praia da Falésia, Vilamoura (<http://www.travel-in-portugal.com/photos/img624.htm> (26/04/2012)).

Muitas das arribas de Norte a Sul do país são locais de excelência para a prática de atividades de lazer. Para além da beleza cénica, as arribas nestas praias podem oferecer proteção em relação ao vento e sombra. Porém, os deslizamentos de solos, a queda de blocos ou mesmo os desmoronamentos constituem fatores de perigo potencial.

Em Portugal há muito a fazer para a proteção da orla costeira, e obviamente no que diz respeito à segurança das pessoas nestes locais.

1.2. OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivo:

- Compilação de tipologias de arribas;
- Inventariação de fenómenos de instabilidade de arribas;
- Análise de casos de estudo no Algarve, nos Açores e no centro do país;
- Proposta de medidas de ordenamento e de soluções técnicas de prevenção, mitigação e proteção, com indicação das suas potencialidades e limitações.

Durante o período de pesquisa foi recolhida informação sobre o tipo de arribas existentes em Portugal, o tipo de instabilidades associadas, o risco potencial e as soluções técnicas utilizadas para a sua estabilização, quando necessário.

No primeiro capítulo, apresentam-se os objetivos do trabalho e explica-se a organização do mesmo.

O capítulo 2 aborda a temática das arribas no que diz respeito à sua constituição litológica e morfológica. São ainda explanados os tipos de instabilidades que podem ocorrer e as causas que provocam esses mesmos movimentos de massa. Por fim é aprofundado o tema da estabilidade global dos maciços na vertente geotécnica.

De seguida, no capítulo 3, são indicados alguns casos de estudo onde se verificam instabilidades nas vertentes e onde foi necessária a intervenção humana.

No quarto capítulo, equaciona-se a questão do ordenamento do território incidindo especialmente na temática das faixas de risco. Depois, abordar-se-á a questão das medidas de mitigação do risco associado à população. Por fim são apresentadas várias soluções técnicas no caso de a mitigação do risco não ser suficiente e a intervenção ser indispensável.

O capítulo 5 destina-se às considerações finais do estudo efetuado.

2

TIPOLOGIAS DE ARRIBAS E TIPOLOGIAS DE INSTABILIDADES

Arriba é uma forma particular de vertente costeira, com declive forte (15° a 90°), em regra talhada em rochas coerentes, pela ação de agentes marinhos (ondas e correntes), ou pela ação conjunta de agentes morfogenéticos marinhos, continentais e biológicos.

O perfil da arriba, isto é, forma e declive, depende da natureza das rochas que a constituem (resistência à erosão mecânica), da morfologia e da intensidade e frequência com que atuam os agentes externos (Teixeira, 2009).

Verifica-se que, as rochas de natureza calcária, ou arenitos duros do Cretácico originam arribas com inclinações próximas de 90° , mais altas, e evoluem geralmente por quedas de blocos. Nas zonas onde o material é margoso e menos coerente, as arribas têm declives inferiores e evoluem sobretudo por deslizamentos (ARH Algarve, 2009).



Fig. 2.1 – Arriba calcária na praia do Vau (http://www.geocaching.com/seek/cache_details.aspx?guid=5609fa8f-0ad0-40a7-99dc-7471505446ae (12/06/2012)).



Fig. 2.2 – Arribas em xistos e grauvaques da praia do Castelejo, Vila do Bispo
(http://blog.turismoalgarve.pt/2012_03_01_archive.html (13/05/2012)).

A parte superior da arriba, em que se verifica a transição da face da arriba para a parte superior, mais plana, ainda não modelada pela evolução da vertente costeira, designa-se por crista da arriba. A base da arriba define-se, frequentemente, por uma zona de escavação provocada pela atuação das ondas. É a evolução progressiva desta base que retira sustentação à parte subjacente da arriba, acabando esta por cair, o que vai originar a o recuo, na direção ao continente, da face da arriba (Fig.2.3).

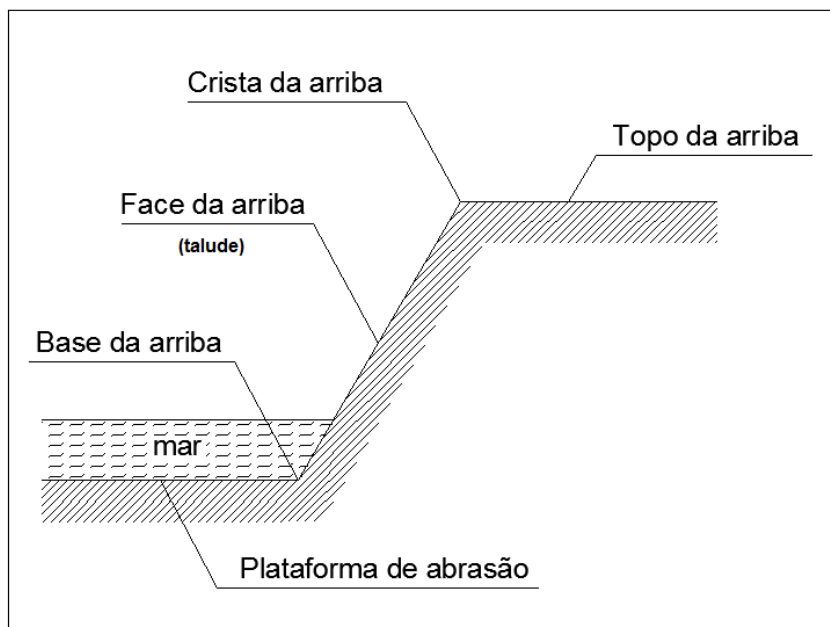


Fig. 2.3 - Elementos geomorfológicos das arribas.

Na Fig. 2.4 representam-se parâmetros dimensionais de movimento de massa das arribas.

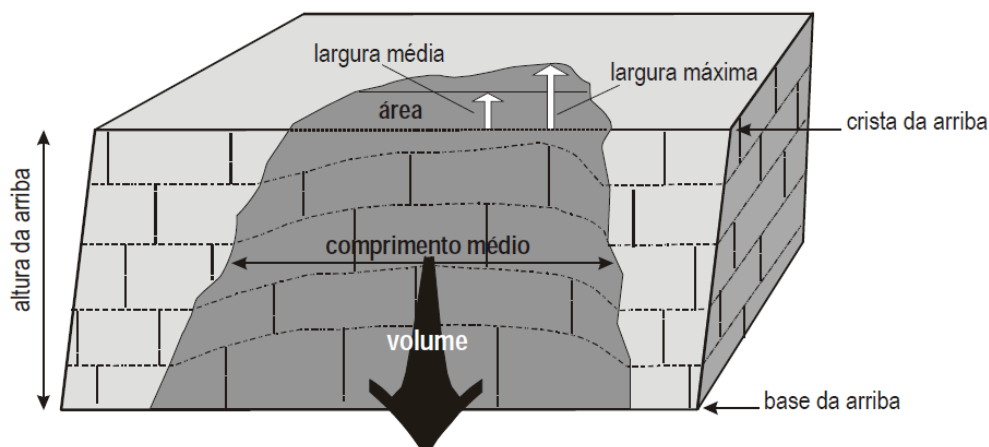


Fig. 2.4 – Parâmetros dimensionais do movimento de massa das arribas (Teixeira, 2009).

2.1. TIPOLOGIAS DE ARRIBAS

As arribas são estruturas naturais que adquirem diferentes configurações ao longo do tempo. Esta evolução morfológica deve-se aos efeitos erosivos e a fenómenos de instabilidade a que se encontram sujeitas. Assim, a sua classificação pode ser feita de acordo com a atuação de agentes externos.

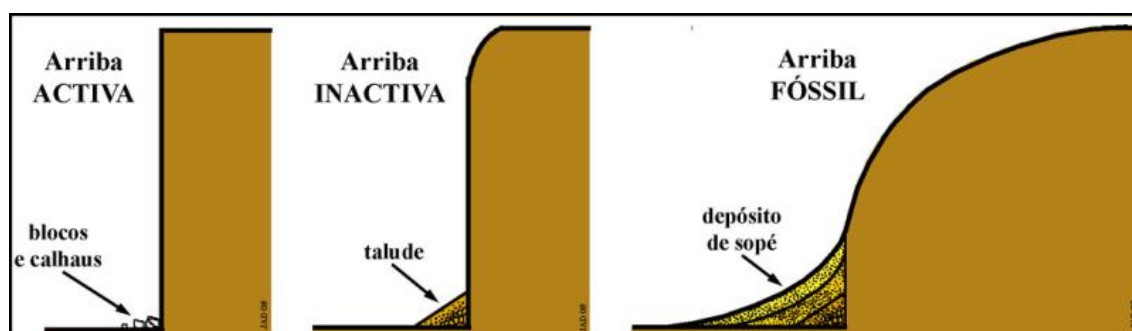


Fig. 2.5 - Representação esquemática dos três estágios principais da evolução de uma arriba (modificado de Emery & Khun (1982)), (citado em <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/index.html> 23/04/2012).

Nas arribas costeiras a atuação dos processos marinhos é dominante, embora a atuação dos processos subaéreos ou biológicos possa ser, também, muito importante. Estas arribas são denominadas de arribas ativas (Fig.2.5). É a conjugação destes processos que, interagindo com as camadas mais resistentes e com as superfícies de fraqueza estrutural, define a forma do perfil da arriba. Quando a atuação dos processos marinhos é muito superior à dos processos subaéreos, o perfil da arriba apresenta tendência para a verticalidade e os ângulos correspondentes à crista e à base tendem a ser retos (Fig. 2.6).

À medida que os processos subaéreos vão adquirindo importância crescente relativamente aos processos marinhos, o perfil resultante apresenta tendência para ser mais suave, com menor pendor e com ângulos obtusos na base e na crista da arriba.

	Litologia homogénea	Camada mais resistente no topo	Camada mais resistente na base
Processos marinhos muito mais atuantes que os subaéreos			
Processos marinhos mais atuantes que os subaéreos			
Processos marinhos com atuação semelhante à dos subaéreos			
Processos subaéreos muito mais atuantes que os marinhos			

Fig. 2.6 - Esquema de perfis de arribas ativas (adaptado de Sebastião Braz Teixeira, 2009).

Quando os processos marinhos deixam de atuar na base da arribo, o perfil desta modifica-se, os materiais provenientes de processos subaéreos sobre a arribo deixam de ser retirados pela agitação marítima e acumulam-se junto à base, constituindo um talude. A arribo marinha designa-se neste caso por arribo inativa (Fig. 2.5).

Se a arribo continua, durante muito tempo, sem atuação dos processos marinhos, os processos subaéreos vão erodindo a sua parte superior e depositando os materiais junto à base, onde se constitui um depósito do sopé. Quando, devido a mudanças climáticas, o nível do mar desce, deixando espaço entre a arribo e o mar, o perfil da arribo adquire forma em “S”, atingindo o estado de arribo fóssil (Fig. 2.5) (<http://www.aprh.pt/rgci/glossario/index.html>, 12/03/2012).

Há ainda que considerar o caso das arribas mergulhantes (Fig. 2.7), que podem corresponder a antigas arribas, submersas por movimentos tectónicos ou por subida do nível do mar. Também podem tratar-se de escarpas de falha ou corresponderem a uma atividade vulcânica recente. Este tipo de arribas recua muito pouco porque os fundos marinhos se situam abaixo do nível de base da rebentação. As ondas só afetam o fundo se estiverem acima do nível de rebentação e se puderem arrancar alguns

sedimentos do mesmo fundo. Parece existir uma tendência para as arribas mergulhantes se formarem em rocha muito resistente e a erosão tende a ser pouco significativa devido à reflexão das ondas (Araújo, 2000).

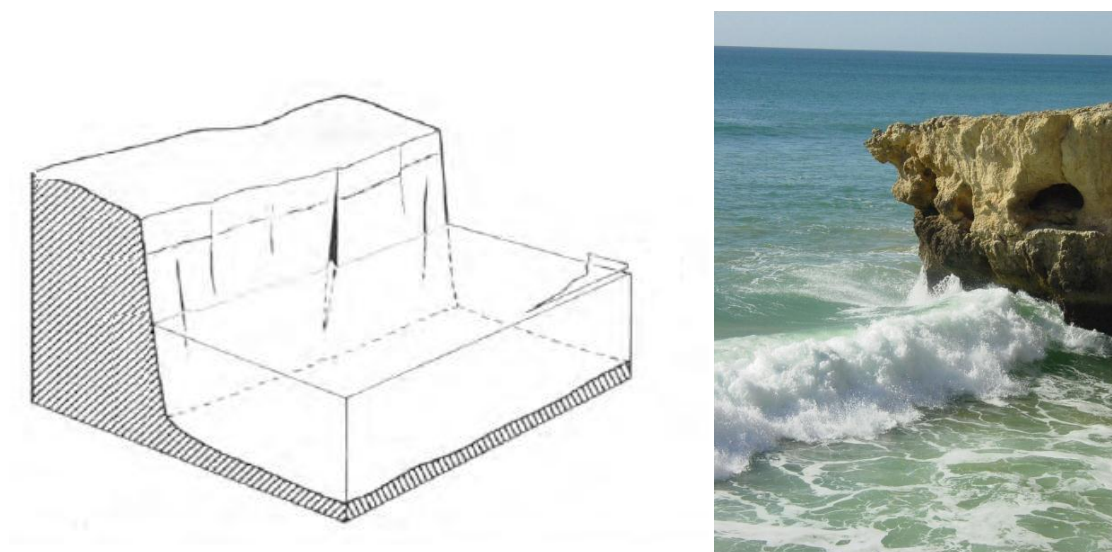


Fig. 2.7 - Esquema de uma arriba mergulhante (Extraído de T. Sunamura (1992))(citado por Araújo, 2000) e exemplo de arriba mergulhante em Albufeira (http://associacaodpga.org/v_al_albufeira_files/Dinamica_Litoral_Algarve_2.pdf 23/04/2012).

No que respeita à morfologia das arribas, estas podem ser classificadas de diversas formas, sendo os critérios utilizados para a sua caracterização organizados numa escala de condicionantes geomorfológicas que incidem na homogeneidade litológica da arriba, no tipo de materiais em que a arriba é cortada e no tipo de perfil da face da arriba (Fig.2.8).

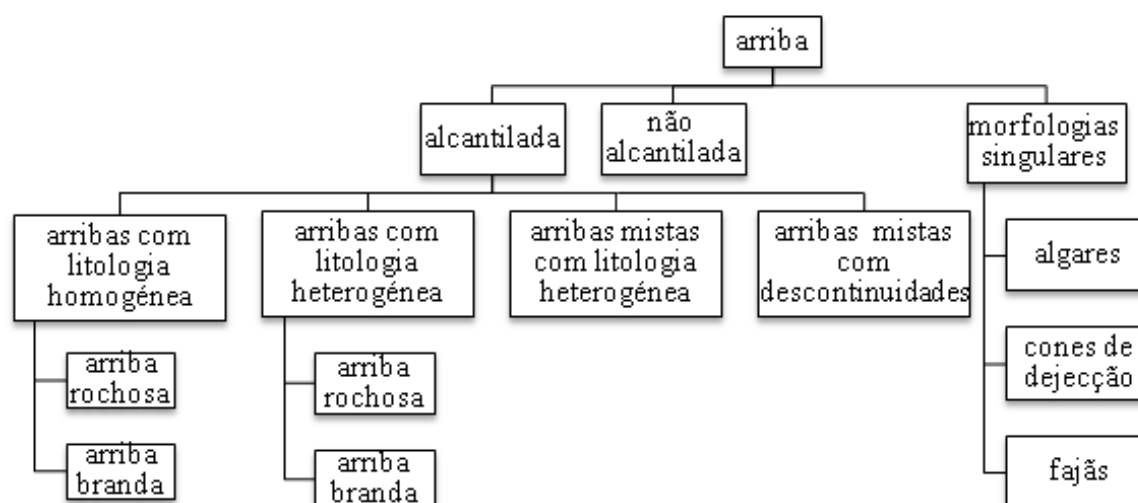


Fig. 2.8 - Tipos e subtipos de arribas (adaptado de Teixeira 2009).

2.1.1. ARRIBAS ALCANTILADAS

As arribas alcantiladas designam-se desta forma devido ao declive das suas margens que, por ser tão elevado, não permite praticar qualquer tipo de utilização (por exemplo a agricultura).

Este tipo de arribas pode ainda ser subdividido em vários subtipos. As arribas com litologia homogénea tendem a apresentar um perfil homogéneo condicionado pelo tipo de material da vertente (brando ou rochoso). No caso de serem cortadas em rochas coerentes como os calcários, dolomitos, calcarenitos, margas, vaques, apresentam fortes declives (superiores a 60°). Por outro lado, se as arribas forem constituídas por material brando, litologias geralmente detríticas, como arenitos pouco consolidados, areias, argilitos, tendem a apresentar declives mais suaves (entre 40° e 70°), devido à fraca coesão do material em que são talhadas. Existe ainda o caso de arribas cortadas em rochas estratificadas em que o efeito da erosão dos diferentes estratos faz com que as camadas de rochas mais resistentes fiquem mais salientes que as camadas mais brandas. De seguida apresenta-se de uma forma esquemática este tipo de arribas (Fig.2.9) (Teixeira, 2009).

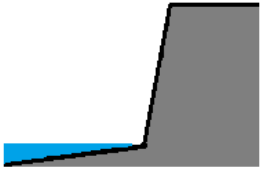
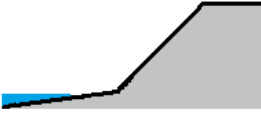
Homogeneidade litológica	Tipo de arriba alcantilada	Perfil característico da arriba
Homogénea	Rocha resistente	
	Rocha Branda	

Fig. 2.9 - Perfis característicos de arribas com litologia homogénea (adaptado de Teixeira,2009).

No caso das arribas com litologia heterogénea, embora sejam constituídas por camadas de diferentes rochas, os critérios são semelhantes aos das arribas de litologia homogénea podendo ter perfil plano ou quebrado. Nas arribas de perfil plano existe continuidade da face da arriba, visto esta não ser sensível a alterações litológicas. Por outro lado, nas arribas com perfil quebrado, as alterações no declive estão associados ao tipo de rochas das diferentes camadas. No caso das arribas brandas, o perfil da arriba pode apresentar-se plano ou quebrado, dependendo do contraste de coesão entre as formações em que a vertente é talhada (Fig.2.10).

As arribas mistas cortadas em litologias heterogéneas são aquelas em que na mesma vertente temos rochas e solos com diferenças de resistência muito acentuadas, traduzidas por perfis tipicamente quebrados, com grande contraste de inclinação (Fig.2.10).

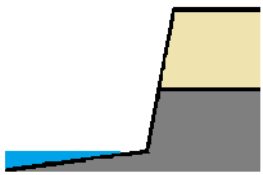
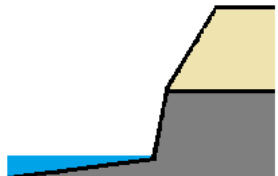
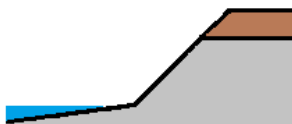
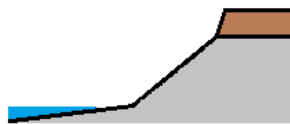
Homogeneidade litológica	Tipo de arriba alcantilada	Morfologia da face da arriba	Perfil característico da arriba
Heterogénea	Rocha resistente	Plana	
		Quebrada	
	Rocha Branda	Plana	
		Quebrada	
	Rocha Mista	Contínua	
		Descontínua	

Fig. 2.10 - Perfis característicos de arribas com litologia heterogénea (adaptado de Teixeira, 2009).

2.1.2. ARRIBAS NÃO ALCANTILADAS

Este tipo de arriba não tem alcantil nem crista (Fig.2.11).

Tipo de arriba não alcantilada	Perfil característico da arriba
Rocha Resistente	
Rocha Branda	

Fig. 2.11 - Perfis característicos de arribas não alcantiladas (adaptado de Teixeira,2009).

2.1.3. MORFOLOGIAS SINGULARES

No que diz respeito a morfologias singulares das arribas existem três casos distintos.

Os algares correspondem a cavidades cársticas, de desenvolvimento vertical e secção circular, formadas por dissolução (Fig.2.12).

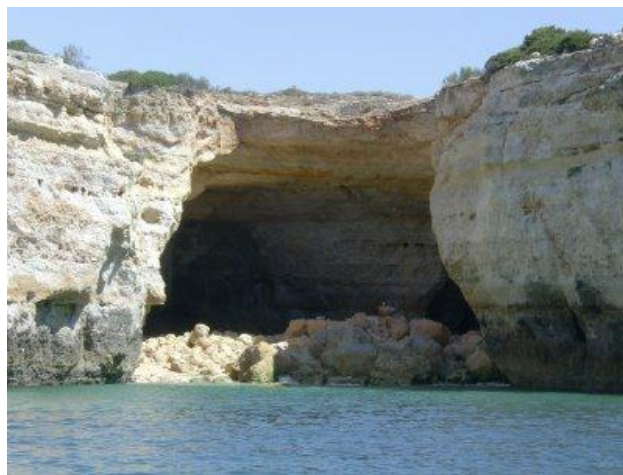


Fig. 2.12 - Exemplo de algar no Algarve (http://espelaion.blogspot.pt/2008_08_01_archive.html 15/06/2012)).

Os cones de dejeção são resultado da acumulação de detritos no sopé da arriba provocados por movimentos de massa resultantes da erosão das frentes costeiras. Em arribas cortadas em formações brandas os cones de dejeção são facilmente removidos ao contrário do que acontece nas arribas rochosas nas quais os cones podem permanecer em intervalos temporais muito grandes (século). Isto deve-se ao facto de, nas arribas rochosas, os cones de dejeção serem formados por elementos de várias granulometrias tendendo a formar depósitos compactos na base da arriba que impede a ação direta das ondas na sua base. Com o decorrer do tempo, a incidência das ondas faz com que os elementos finos

sejam removidos permanecendo apenas os elementos de maiores dimensões, isto vai fazer com que a água do mar circule nos espaços livres existentes e incidam na base da arriba.

As fajãs (Fig.2.13) são grandes movimentos de massa que geram cones de deposição de grandes dimensões na base das arribas. Estes movimentos ocorrem quando as arribas se elevam a centenas de metros e são característicos das Ilhas dos Açores e da Madeira e a sua longevidade é proporcional à sua dimensão (Teixeira, 2009).

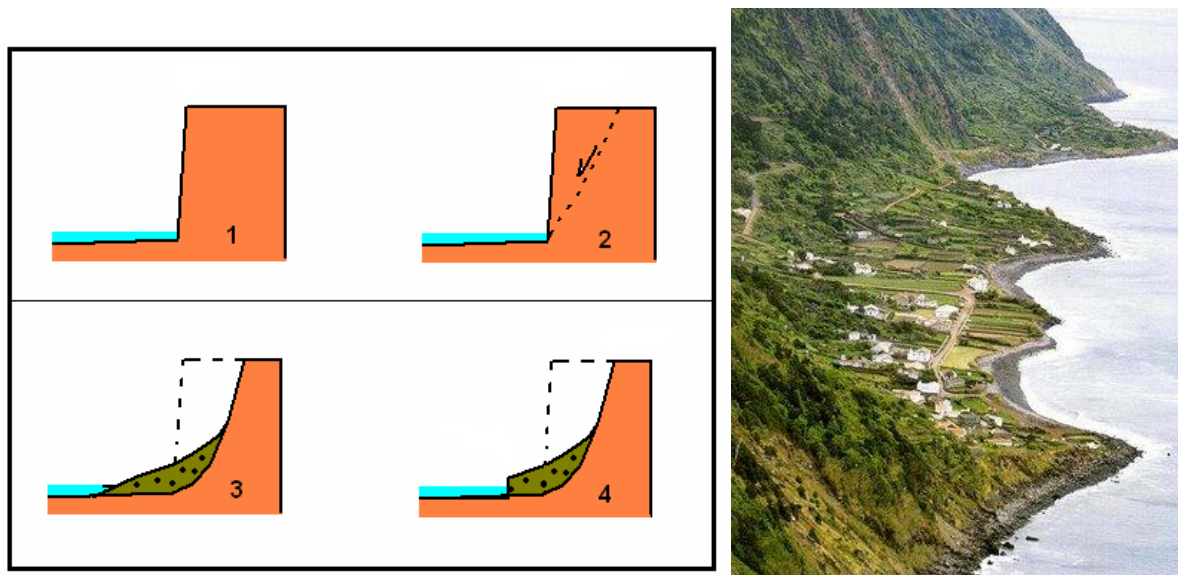


Fig. 2.13 - Método de evolução das arribas onde se verificam grandes movimentos de massa, com formação de cones de detritos com grande longevidade (fajãs) (adaptado de Sebastião Braz Teixeira) e Fajã dos Vimes, S. Jorge, Açores (<http://geocrusoe.blogspot.pt/2008/10/depsitos-de-vertente-como-fajs.html> (15/06/2012)).

2.2. TIPOLOGIAS DE INSTABILIDADES

Em Portugal existem zonas particularmente suscetíveis à ocorrência de instabilidades de vertente, devido ao relevo vigoroso frequentemente associado a deficientes características de resistência do terreno ou a contextos em que a erosão no sopé é particularmente intensa, como é o caso das arribas costeiras (Mateus 2008).

As arribas costeiras podem ser analisadas como taludes naturais que sofrem erosão mais ou menos intensa na base. Esta erosão provoca aumento do declive do talude ou mesmo a formação de subescavações que favorecem a ocorrência de fenómenos de instabilidade (Fig.2.14) (Falcão Neves, 2004).

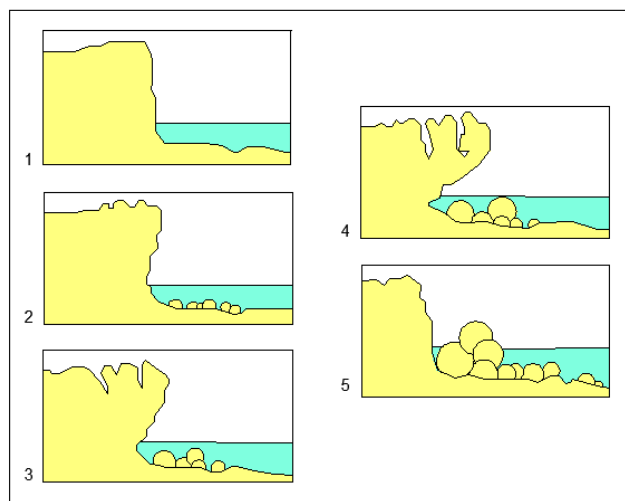


Fig. 2.14 - Efeito da erosão na base das arribas calcárias
(http://biologia11ecinco.blogspot.pt/2010_03_01_archive.html, (25/06/2012)).

Os movimentos de massa de vertente em arribas são predominantemente do tipo queda de blocos, escorregamento planar e tombamento (Figura 2.15). Implicam a mobilização de volumes variáveis de material que vão desde pequenos blocos decimétricos a milhares de metros cúbicos (Mateus, 2008).

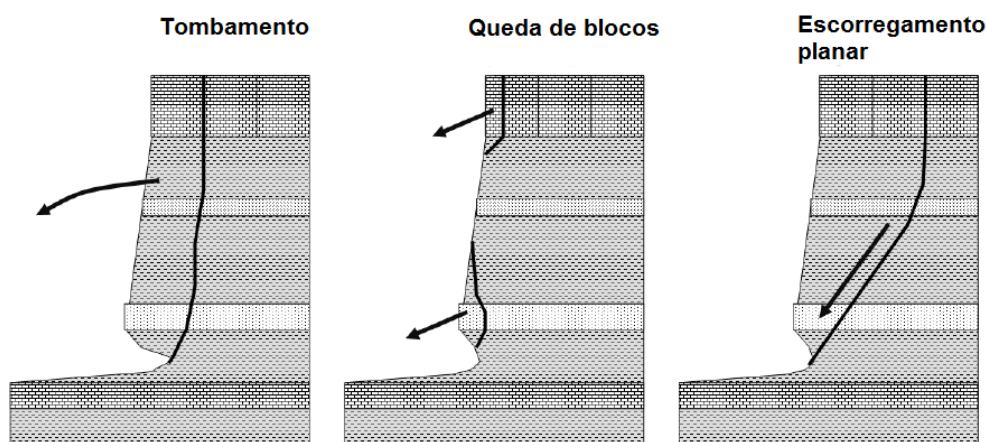


Fig. 2.15 - Movimentos de massa nas arribas (ARH Algarve, 2009).

Em grande parte das litologias, o aumento do declive proporcionado pela erosão na base, provocada pela energia das ondas, propicia a ocorrência de movimento de massa da vertente. A forma e a intensidade desses movimentos dependem muito do tipo de rocha e da respetiva estrutura, bem como o clima que pode facilitar ou não certos tipos de meteorização (química nos climas tropicais, mecânica nos climas frios e áridos). No entanto, os detritos resultantes destes movimentos constituem proteção da base da arriba que impedem, durante um dado período de tempo, a erosão marinha e tendem a ser levados pelas ondas.

Após a remoção completa dos depósitos da base, reinicia-se o processo erosivo sobre a base do maciço, que irá conduzir à ocorrência de novos movimentos de massa da vertente. Pode então dizer-se que se está perante um ciclo de eventos de recuo das arribas (Fig.2.16) (Falcão Neves, 2004).

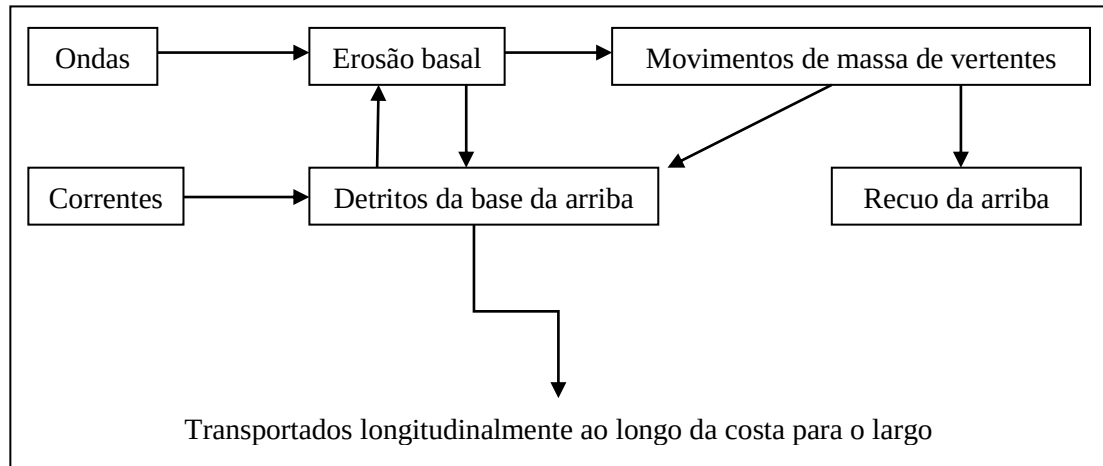


Fig. 2.16 - Sistema de recuo das arribas (Sunamura, 1992) (citado por Araújo, 2004).

2.2.1. TIPOS DE ONDAS NA BASE DAS ARRIBAS

Na base das arribas podem ocorrer três tipos distintos de ondas quando estas incidem perpendicularmente à costa: ondas estacionárias, ondas em rebentação e ondas já rebentadas (Fig. 2.17).

A forma mais simples de representar uma onda baseia-se no estudo da agitação regular, que se apoia da teoria Linear, ou de Airy. Esta teoria considera que a onda é sinusoidal e que o movimento é meramente oscilatório, isto é, uma determinada partícula de água que se encontra numa certa posição, tende a voltar à mesma. O intervalo de tempo que a partícula demora a retomar essa posição designa-se por período de onda, T .

A teoria linear considera uma onda progressiva, bidimensional, que se propaga através de um fluido, assentando em diversos pressupostos, que a simplificam:

- O fluido é homogéneo, incompressível e não viscoso;
- A pressão ao longo da superfície livre é uniforme e constante;
- A tensão superficial sobre o fluido e as forças de Coriolis são desprezáveis;
- A forma da onda não varia no tempo e no espaço;
- As ondas têm um movimento irrotacional;
- Teoria apenas considerada para águas profundas;
- Ondas com crista e cavas bem definidas.

Tendo em conta estes pressupostos uma onda caracteriza-se pelos seguintes parâmetros:

- Cava, denominação dada ao ponto mais baixo da onda;
- Crista, denominação dada ao ponto mais alto da onda;
- Comprimento de onda, L , que se caracteriza por ser a distância, medida na horizontal, entre duas cavas ou cristas sucessivas de uma onda;

- Período de onda, T , intervalo de tempo correspondente à passagem de duas cristas ou duas cavas consecutivas por um ponto fixo; tempo que um determinado ponto da onda demora a percorrer uma distância igual ao comprimento de onda;
- Celeridade, c , velocidade que uma determinada fase particular da onda se propaga, por exemplo a velocidade de propagação de uma crista; diferentes celeridades de onda conduzem à dispersão destas;
- Altura de onda, H , definida pela distância medida na vertical, entre a crista e a cava da onda;
- Amplitude de onda, a , corresponde a metade da altura de onda; distância medida na vertical, entre uma crista ou uma cava e o nível estático da água, uma vez que se trata de uma onda sinusoidal;
- Frequência da onda, ω , é dada por $2\pi/T$;
- Número de onda, k , igual a $2\pi/L$;
- Fase, θ , igual a $kx - \omega t$;
- Posição na horizontal, x ;
- Posição na vertical, y ;
- Sobrelevação da superfície, η , sendo esta $f(x,t)$;
- Profundidade de água, d , que representa a distância medida na vertical entre o nível estático e o fundo.

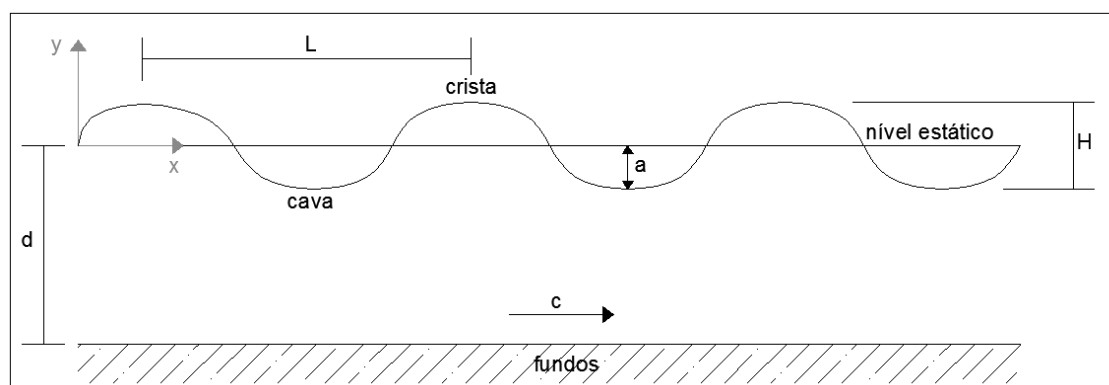


Fig. 2.17 - Parâmetros elementares relativos a ondas (adaptado de Veloso Gomes, 2011).

O tipo de onda está relacionado com a profundidade da base da arriba e a profundidade a que as ondas rebentam. Se a profundidade na base da arriba for superior à profundidade a que um tipo específico de onda pode rebentar com vertentes verticais e perpendicularmente à costa (o que acontece quando o declive da onda é superior a $1/7$), formam-se ondas estacionárias. Se a profundidade for idêntica a esse valor, a onda rebenta sobre a arriba. Se a profundidade, por outro lado, for inferior, a onda rebenta mais para o largo e já chega rebentada à base da arriba (Fig. 2.17). Uma vez que o declive das ondas é condicionado pelo atrito com o fundo, a ocorrência de cada uma destas hipóteses depende do declive do fundo e das características da ondulação (Araújo, 2000).

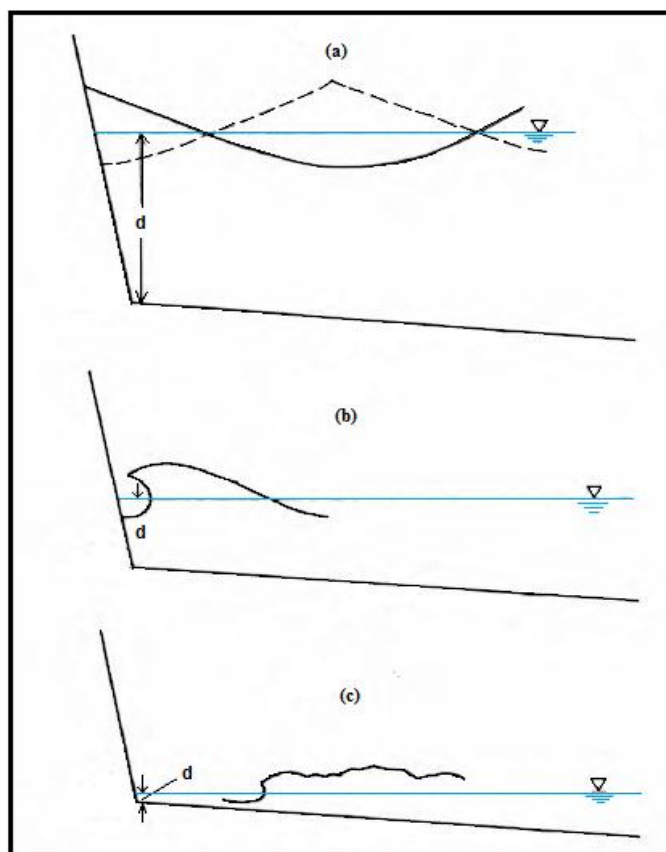


Fig. 2.18 - Tipos de ondas incidentes na base das arribas: (a) ondas estacionárias; (b) rebentação de ondas; (c) ondas após rebentação (Extraído de Sunamura (1992)) (citado por Araújo, 2004).

2.2.1.1. Fenómenos de alteração e deformação da agitação na propagação em direção à costa

De entre os vários fenómenos de alteração e deformação da agitação há que salientar alguns que podem influenciar o ângulo de incidência das ondas nas arribas.

A refração das ondas, juntamente com outros fenómenos de deformação, determina a sua altura num local a partir das características das ondas ao largo. Se uma onda progressiva tiver a sua linha de crista formando um determinado ângulo com as curvas de nível do fundo do mar (batimétricas), a onda deverá sofrer uma deformação, porque as extensões da crista, que se deslocam a maiores profundidades, terão maior celeridade. A linha de costa tenderá a deformar-se e a alinhar-se com as curvas de nível do fundo, visto que a celeridade depende da profundidade. Pode então afirmar-se que a refração é influenciada e pode afetar a batimetria dos fundos. Admite-se, ainda, que a energia da frente de onda monocromática se mantém constante entre ortogonais, que o avanço da onda é perpendicular à crista, que a variação da topografia é gradual e que é válida a teoria linear das ondas sinusoidais, sendo constante o período.

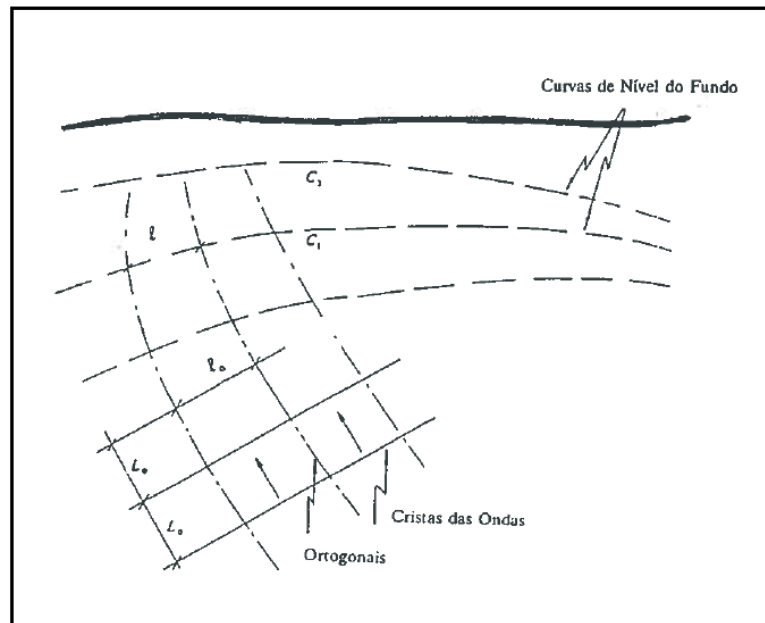


Fig. 2.19 - Refração das ondas (Veloso Gomes, 2011)

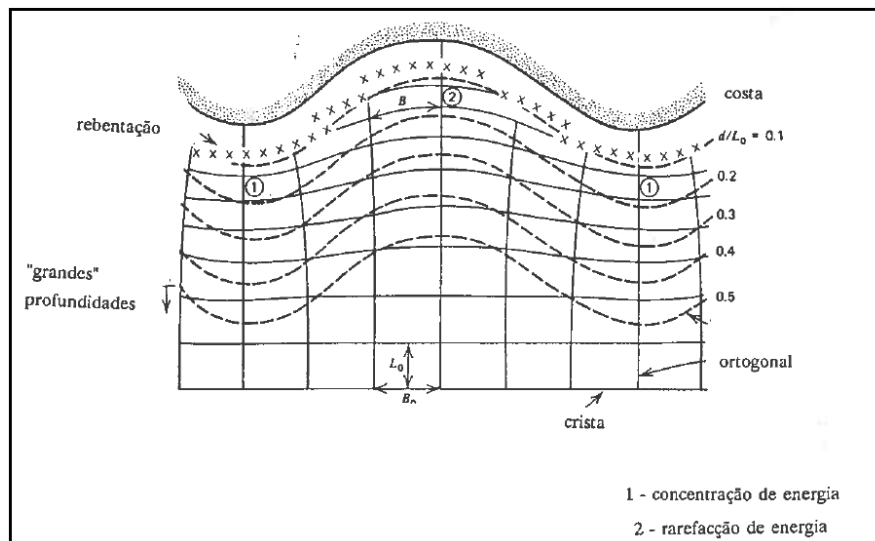


Fig. 2.20 - Representação das cristas das ondas e das ortogonais (Veloso Gomes, 2011).

A importância da detecção de zonas de elevados coeficientes de refração está relacionada com a determinação das alturas de onda locais e zonas mais críticas afetadas pela refração e rebenção das ondas.

Existem três tipos típicos de rebenção:

- Rebenção progressiva;
- Rebenção mergulhante;
- Rebenção oscilatória.

Geralmente, para taludes com inclinações inferiores a 1/10, as reflexões são relativamente pequenas atingindo-se uma reflexão total para um ângulo de talude, liso e impermeável, de 90°, gerando-se uma onda estacionária.

A energia da onda que atinge o talude é praticamente dissipada por turbulência principalmente no caso da rebentação mergulhante. A energia restante é transformada em energia potencial ao longo do espraçamento, ocorrendo também perdas por atrito no fundo, percolação e alteração do perfil. A energia não dissipada é refletida.

A rebentação progressiva ocorre em fundos quase horizontais e é caracterizada pelo aparecimento e progressivo desenvolvimento de uma emulsão de água e ar (espuma) na zona frontal da crista, mantendo-se esta aproximadamente simétrica. A energia é dissipada por turbulência.

A rebentação mergulhante ocorre com uma acentuada deformação da crista da onda, instantes após a zona frontal da crista se tornar praticamente vertical. Essa deformação é tal que se verifica o envolvimento de uma bolsa de ar à superfície e em profundidade. Os fenômenos de turbulência são muito intensos, bem como as solicitações dinâmicas que provocam.

Quando os taludes são muito íngremes pode ocorrer o tipo de rebentação oscilatória. Na fase inicial assemelha-se à rebentação mergulhante até que ocorre um adiantamento da zona inferior da onda que leva ao colapso da crista.

Designa-se por espraçamento a cota máxima atingida por uma onda marítima, ao interagir com o talude. A cota é medida na vertical e tem por referência o nível de repouso.

As diversas fases do fenómeno hidrodinâmico terminam com o espraçamento. Este fenómeno é intercalado por fenómenos de refluxo, correspondendo ao refluxo máximo a cota mais baixa atingida nesta interação. O refluxo pode ser positivo ou negativo em relação ao nível de repouso inicial. É nesta fase que as ondas atingem as arribas, no caso de estas serem mergulhantes ou de as praias terem pouco areal.

2.2.2. CAUSAS DE MOVIMENTOS DE MASSA DAS VERTENTES

Existem várias causas para movimentos de massa das vertentes que podem ser associadas em dois grupos:

- Causas externas, solicitações diretas sobre as arribas (natural e antrópica);
- Causas internas, que contribuem para a evolução natural dos maciços.

As causas externas incluem:

- Erosão no sopé e no topo (crista);
- Existência de subescavações na base da arriba (agitação marítima, correntes);
- Impacto das ondas;
- Variação rápida do nível das águas;
- Precipitações intensas;
- Sobrecargas com impermeabilização (estacionamentos, acessos e construções);
- Regas intensivas de espaços verdes;
- Sismos;
- Atividade vulcânica;
- Ventos intensos.

No que diz respeito a causas externas, é de salientar que é nas grandes tempestades, quando as ondas têm maior energia e o nível do mar está sobrelevado, que se verificam maiores recuos das arribas (Araújo, 2000).

As regas intensivas de espaços verdes e as sobrecargas são impactos antropogénicos (Fig.2.21). Estes últimos como provocam sobrecargas no topo das arribas provocam uma diminuição no fator de segurança do talude propiciando o deslizamento (Matos Fernandes, 2011).



Fig. 2.21 - Campo de golf de Vale do Lobo (http://www.imatico.lu/algarve/golf_resort_beach_vale_lobo.htm, 25/06/2012).

As causas internas incluem:

- Rotura progressiva – fissuração;
- Meteorização;
- Erosão por escoamento subterrâneo;
- Alternância de rochas e solos com características geomecânicas diferenciadas;
- Inclinação e altura dos taludes;
- Raízes de vegetação.

(http://www.inag.pt/inag2004/port/a_intervencao/obras/pdf/folhetoArribas.pdf, (11/03/2012)).

No que diz respeito às causas internas, para além da resistência mecânica dos minerais componentes e da suscetibilidade à alteração (dependente da composição das rochas), a existência de fraturas e descontinuidades de diversos tipos tem um papel primordial na definição da capacidade que uma determinada rocha tem de resistir às pressões mecânicas do tipo daquelas a que estão sujeitas as rochas batidas pelas ondas.

Um fator que também deve ser tido em conta é a fadiga que as rochas adquirem devido a compressões cíclicas do tipo das que ocorrem com a rebentação das ondas. Essa fadiga induz uma microfissuração que diminui a resistência da rocha, cujas depressões e reentrâncias poderão vir a ser alargadas depois de exploradas por ação das ondas, de forma a facultar o arranque de pedaços de rocha.

Quanta mais vezes a rocha é atingida pelas ondas do mar, menor é a sua resistência à fadiga (Fig. 2.22). O mesmo acontece com a saturação da rocha visto que a existência de água diminui muito o limite da fadiga das rochas.

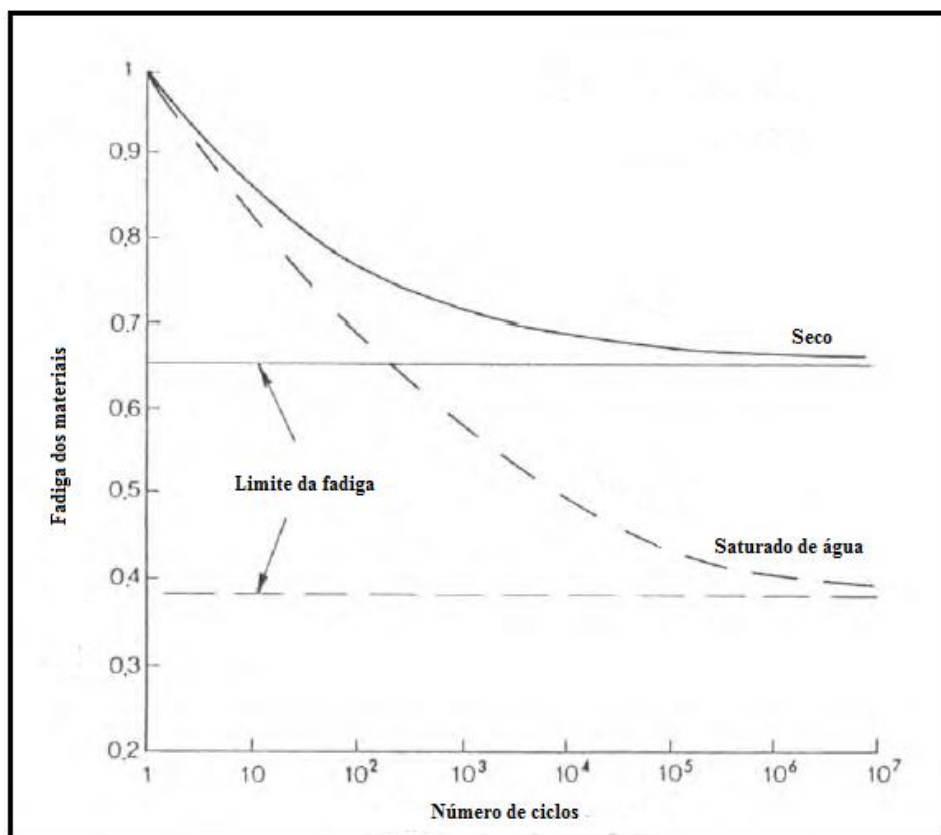


Fig. 2.22 - Relação entre a fadiga dos materiais, o número de ciclos de pressão e a existência ou não de água (Extraído de Sunamura (1992)) (citado por Araújo, 2000).

Se a arriba tiver fissuras, quando as ondas incidem na face da arriba, o ar situado nas fendas é violentamente comprimido. Quando a onda recua, dá-se o processo inverso, de descompressão provocando o alargamento dessas mesmas fendas e propiciando a fragmentação da rocha por um processo de arranque. A descompressão que ocorre no refluxo da onda ajuda ainda a transportar os materiais desagregados. As ondas carregadas com estes materiais têm mais ação abrasiva e o choque destes materiais com a arriba vai contribuir para o arranque de partículas de diversos tamanhos (Araújo, 2000).

Estas causas podem ainda ser classificadas em dois grupos, o dos fenómenos de ação rápida e o dos fenómenos de ação lenta e continuada.

2.2.2.1. Fenómenos de ação rápida

Os fenómenos de ação rápida são aqueles que geram campos de solicitação intensos como a atividade vulcânica e sísmica, bem como fortes tempestades nos períodos de condições meteorológicas adversas. Como consequência podem ocorrer acentuados movimentos de massa que deixam um rasto de destruição e fragilizam os maciços.

A agressividade deste tipo de fenómenos inviabiliza qualquer tipo de solução técnica. A única solução é a adaptação às consequências das forças da natureza sendo os locais, situados nas imediações das arribas, de alto risco. Mesmo as vertentes que se apresentem estáveis devem ser encaradas como potencialmente instáveis no caso de se situarem em zonas propícias a sismos ou atividade vulcânica.

2.2.2.2. Fenómenos de ação lenta

Os fenómenos de ação lenta e continuada são aqueles que resultam da alteração física e química dos maciços. Entre estes tipos de fenómenos refere-se:

- A ação mecânica do mar, que desgasta a base das arribas, provocando o seu colapso;
- A ação hidráulica resultante dos ciclos de secagem/humedecimento, que proporcionam a criação de fendas, conduzindo à sua rotura;
- A ação mecânica resultante da ação da vegetação, cujo desenvolvimento das raízes conduz à fracturação das arribas;
- A alteração dos maciços devido ao potencial químico da água, tanto do mar como da chuva.

No entanto, os fenómenos com maior importância estão relacionados com a ação do mar. Este tipo de erosão é responsável pelo recuo da linha de costa que pode resultar no desmantelamento dos maciços. Este processo resulta da ação continuada das ondas sobre o maciço, conjugada com o ataque químico da água.

2.3. ESTABILIDADE GLOBAL DOS MACIÇOS TERROSOS

Sob o ponto de vista geotécnico o problema a tratar está relacionado com a estabilidade dos taludes naturais visto que as elevadas pendentes associadas a fenómenos de vulcanismo, sismicidade, condições meteorológicas adversas e erosão dão origem a movimentos de massa muito significativos.

A caracterização mecânica dos maciços através de parâmetros de resistência (coesão e ângulo de resistência ao corte) é portanto um assunto que deve ser desenvolvido dada a escassez de informação nesta área relativamente a arribas (D.R. R.nº.29/2007/A).

As roturas globais realmente observadas, embora sejam por vezes associadas a perdas de vidas humanas e de bens materiais são, por outro lado, de extrema utilidade para o avanço dos conhecimentos. Em muitas destas roturas é possível calcular com bastante aproximação as forças instabilizadoras, ou seja a resistência ao corte do solo ao longo da superfície de deslizamento, no momento do colapso.

Passa-se a apresentar alguns métodos relacionados com a estabilidade de taludes.

2.3.1. TEOREMAS DA REGIÃO INFERIOR E DA REGIÃO SUPERIOR

A teoria mais consistente para desenvolver o problema mecânico de maciços é a teoria da análise limite baseada em dois teoremas da Teoria da Plasticidade, o teorema da região inferior e o teorema da região superior cujos enunciados são (Folque, 1975 (citado por Matos Fernandes, 2011)):

- Teorema da região inferior: dada uma estrutura e um dado conjunto de forças exteriores que a solicitam, se for possível atribuir à estrutura uma distribuição de tensões que

equilibre a solicitação e se em nenhum ponto for excedida a resistência do material, a estrutura é estável;

- Teorema da região superior: dada uma estrutura e um dado conjunto de forças exteriores que a solicitam, se for possível atribuir à estrutura um campo de deslocamentos compatível para o qual o trabalho realizado pelas forças exteriores iguala o trabalho dissipado internamente pelas tensões na estrutura, esta sofre colapso.

Enquanto o teorema da região inferior tem em consideração as condições de equilíbrio e as propriedades do material, mas não considera explicitamente a compatibilidade das deformações, o teorema da região superior considera as condições de compatibilidade e as propriedades do material mas não considera as condições de equilíbrio.

Pode então concluir-se que enquanto o teorema da região inferior trata de estados de tensão estaticamente admissíveis, o teorema da região superior trata de mecanismos de colapso cinematicamente admissíveis.

Como se mostra na figura 2.23, o ponto do maciço com maior tensão de corte é o ponto da face da arriba junto à base desta.

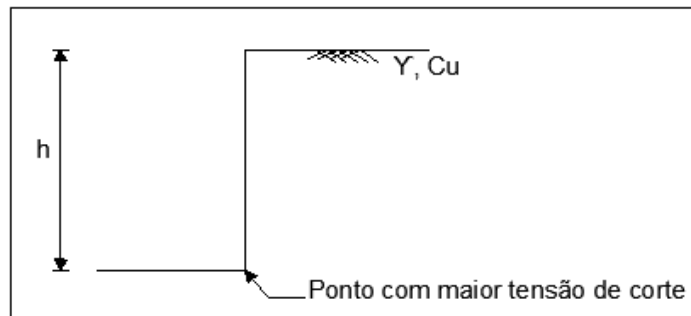


Fig. 2.23 - Localização do ponto com maior tensão de corte na arriba (adaptado de Matos Fernandes, 2011).

De acordo com o teorema da região inferior, para que haja segurança no maciço:

$$h \leq h_{cr} \quad (2.1)$$

Onde h_{cr} corresponde à altura crítica de um talude não suportado, de face vertical, num maciço homogêneo de peso volúmico γ e resistência não drenada c_u .

Como,

$$\gamma \cdot h = 2 \cdot c_u \quad (2.2)$$

Então,

$$h = \frac{2 \cdot c_u}{\gamma} \quad (2.3)$$

Considerando agora a Figura 2.24 num maciço, um bloco de peso W limitado por uma superfície plana que passa pelo pé da arriba, com uma inclinação α em relação à horizontal, deslizará para uma certa altura h_m . (Matos Fernandes, 2011)

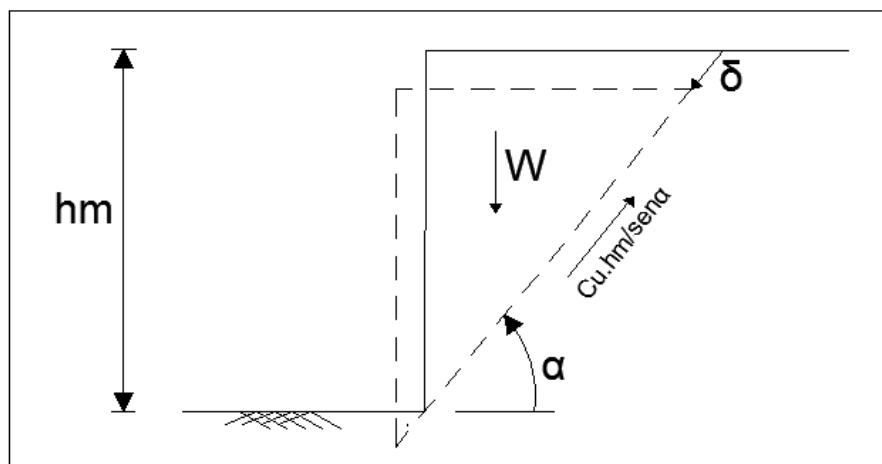


Fig. 2.24 - Mecanismo de colapso cinematicamente admissível (adaptado de Matos Fernandes, 2011).

Considerando um deslocamento do bloco ao longo do plano inclinado, δ , de acordo com o teorema da região superior pode ser obtida uma solução igualando o trabalho das forças exteriores ao trabalho plástico da deformação da força resistente ao longo da superfície de deslizamento (considerando um comportamento não drenado, sem variações de volume (ângulo de dilatância nulo), tendo o deslocamento δ direção coincidente com o plano de deslizamento inclinado). Assim,

$$W \cdot \delta \cdot \sin \alpha = \frac{c_u \cdot h_m \cdot \delta}{\sin \alpha} \quad (2.4)$$

De onde se retira,

$$h_m = \frac{W \cdot \sin^2 \alpha}{c_u} \quad (2.5)$$

Como

$$W = 0,5 \cdot \gamma \cdot h_m^2 \cdot \cot \alpha \quad (2.6)$$

Então tem-se que,

$$h_m = \frac{2 \cdot c_u}{\gamma} \cdot \frac{1}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} \quad (2.7)$$

Calculando a derivada parcial de h_m em ordem a α e igualando a zero, obtêm-se para este ângulo o valor de $\pi/4$, que substituindo na equação (2.7) obtêm-se:

$$h_m = \frac{4 \cdot c_u}{\gamma} \quad (2.8)$$

Pode então concluir-se que a altura crítica está limitada por valores de altura obtidos pelos dois teoremas:

$$\frac{2 \cdot c_u}{\gamma} \leq h_{cr} \leq \frac{4 \cdot c_u}{\gamma} \quad (2.9)$$

2.3.2. MÉTODOS DE EQUILÍBRIO LIMITE

Estes métodos consistem em:

- Admitir um mecanismo de rotura, correspondente a uma massa de terras limitada por uma superfície de deslizamento (curvilínea, plana ou mista);
- Para a mesma massa, calcular o efeito das forças instabilizadoras ou solicitantes, S, na superfície de deslizamento; tal equivale a calcular as forças tangenciais que é necessário mobilizar, M, na mesma superfície para equilibrar aquele efeito: logo, S=M.
- Calcular as forças tangenciais mobilizáveis ou resistentes na superfície de deslizamento, para o mecanismo de rotura admitido, R;
- Proceder a uma comparação entre as forças;
- Repetir todos estes passos para outros mecanismos e massas de terra, identificando a superfície crítica, que será aquela que limita a massa de terras para a qual comparação de S com R é menos favorável.

A forma tradicional de comparar as forças anteriormente mencionadas é:

$$F = \frac{R}{S} \quad (2.10)$$

Em que F representa o coeficiente global de segurança. (Matos Fernandes, 2011)

2.3.2.1. Método das fatias

Nos taludes de maciços naturais onde não se registam zonas ou camadas com características altamente contrastantes, muitas vezes as roturas verificam-se ao longo da superfície de deslizamento que, numa secção transversal, são muito aproximadamente arcos de circunferência.

Nessas situações a análise de equilíbrio de massa potencialmente deslizante fica facilitada por meio da sua divisão em fatias de faces verticais (Fig. 2.25).

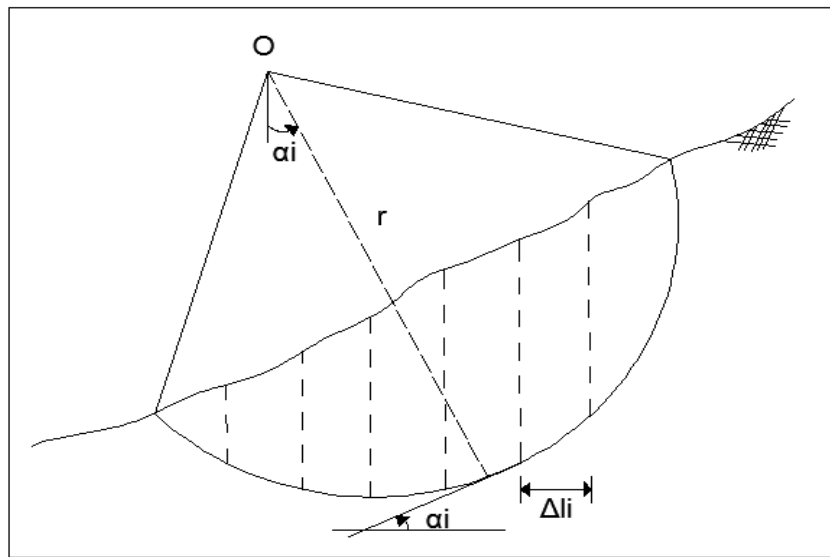


Fig. 2.25 - Método das fatias – massa de terras em análise.

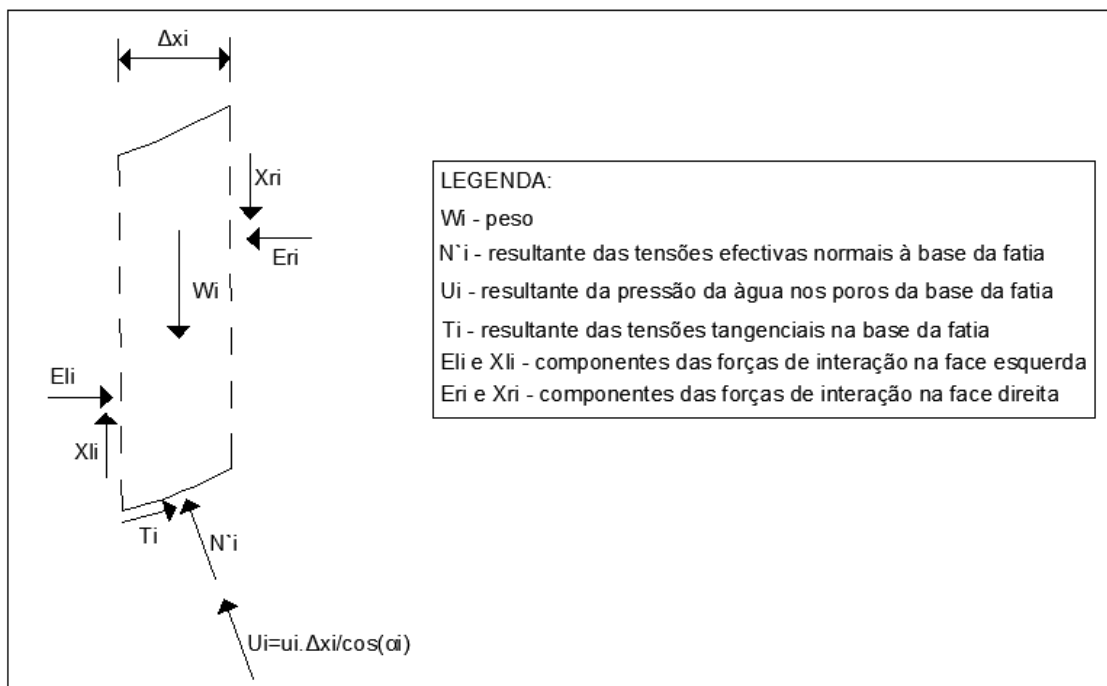


Fig. 2.26 - Método das fatias – fatia genérica com as forças aplicadas.

Considerando uma fatia genérica com todas as forças que lhe estão aplicadas, como se poderá ver na Fig. 2.26, o coeficiente de segurança é definido em termos de momentos em relação ao centro do arco.

$$F = \frac{M_R}{M_S} \quad (2.11)$$

MR corresponde ao momento das forças resistentes ou mobilizáveis ao longo do arco que se opõe ao deslizamento e MS ao momento das forças que tendem a provocar aquele deslizamento. (Matos Fernandes, 2011)

2.3.3. ESTABILIDADE E ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES NATURAIS

Considerando um talude natural, a sua superfície potencial de deslizamento e a massa por ela limitada é dividida em fatias de faces verticais (Fig.2.27).

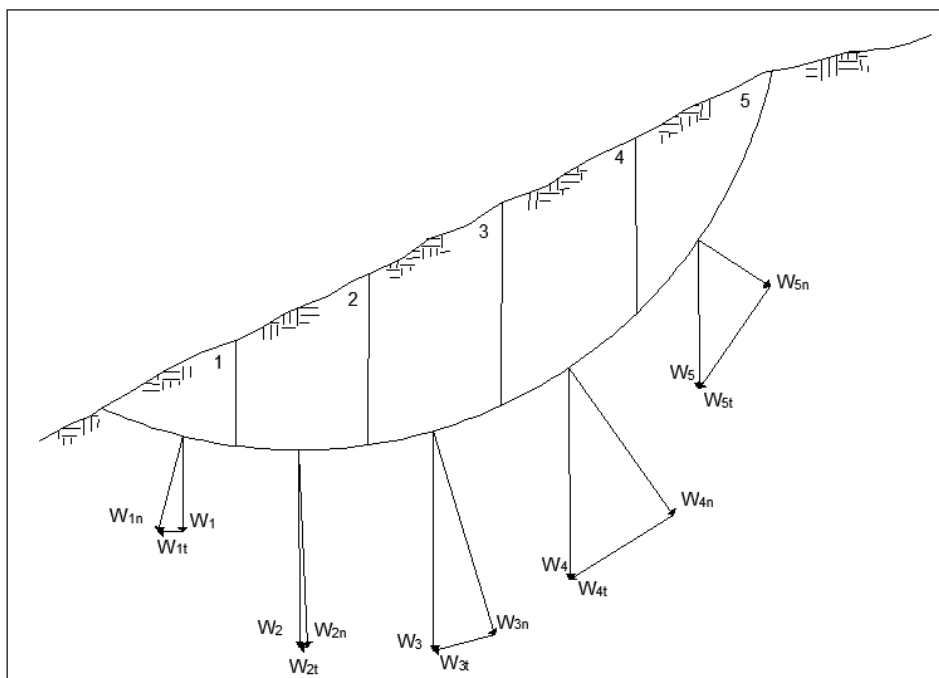


Fig. 2.27 - Esquema da massa potencialmente instável num talude natural, mostrando para as diversas fatias a decomposição do peso segundo as direções normal e tangencial à base (Matos Fernandes, 2011).

Para fazer a análise de estabilidade é necessário decompor o peso segundo as direções normal e tangencial em relação à base da mesma. Enquanto a componente tangencial contribui para o momento instabilizador a componente normal vai contribuir para o momento resistente que ajuda à estabilidade do talude.

A tensão tangencial do talude é maior na fatia superior e menor na fatia inferior, o contrário acontece com a componente normal (Fig. 2.27).

Tendo isto em conta e considerando o equilíbrio das forças em cada fatia isoladamente, o coeficiente de segurança local seria mínimo na fatia superior (fatia 5) (Fig. 2.27) devido a uma carência de resistência (zona ativa).

No entanto nas fatias situadas no meio do talude verifica-se um excesso de resistência (zona passiva) e enquanto esta for superior à carência verificada na fatia superior não existem problemas de estabilidade. As forças que fazem com que o excesso de resistência compense a carência são as forças de interação entre as fatias. (Matos Fernandes, 2011)

2.3.3.1. Interpretação dos mecanismos de rotura em desenvolvimento

Em taludes naturais que revelam sinais de instabilidade, a superfície potencial de escorregamento não é conhecida dado que a natureza da sua massa também não o é. O que se verifica são manifestações à superfície, fendas, movimentos, danos estruturais em estradas, entre outros. No entanto, estas manifestações não permitem concluir qual a profundidade e a extensão atingida pela massa instável. Como tal, a interpretação do mecanismo de instabilidade é indispensável para um bom projeto de estabilização. O faseamento típico deste tipo de taludes está demonstrado na figura 2.28.

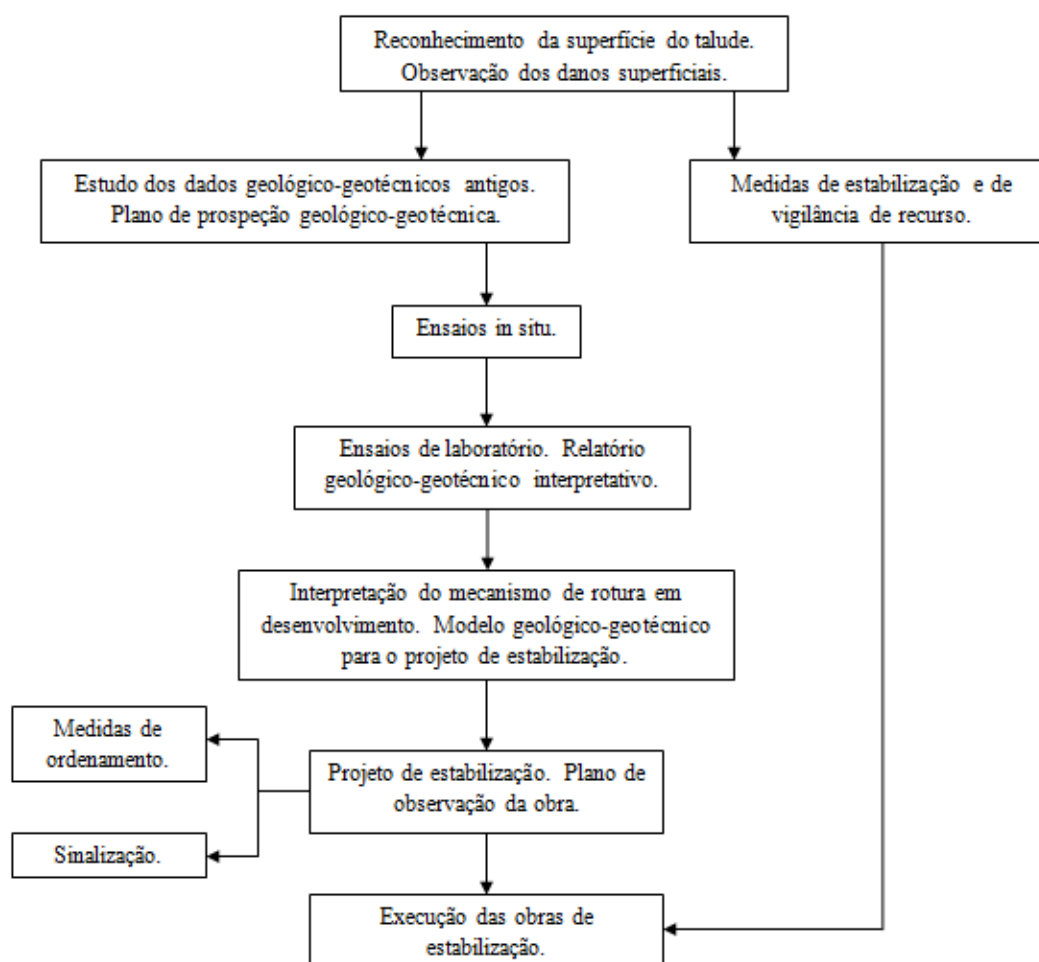


Fig. 2.28 - Faseamento típico dos estudos de estabilização de taludes naturais (adaptado de Matos Fernandes, 2011).

Os tipos de obras de estabilização possíveis em arribas estão explicados com pormenor no capítulo 4.

3

CASOS DE ESTUDO NO
ALGARVE, REGIÃO CENTRO E
AÇORES

Os casos de estudo que se apresentam são ilustrativos de problemas de instabilidade em arribas costeiras portuguesas e que suscitam medidas de prevenção, mitigação e proteção apontadas no capítulo 4.

3.1. REGIÃO CENTRO

3.1.1. TROÇO ENTRE CABO ESPICHEL E SETÚBAL

Na região do Cabo de Espichel (Fig. 3.1) observa-se uma extensa plataforma culminante que se estende desde o cabo, com cotas a cerca de 150 metros, até às proximidades de Sesimbra, atingindo os 220 metros. É constituída por formações jurássicas, predominantemente calcárias e fortemente deformadas, correspondendo a uma superfície de abrasão marinha pela sua regularidade, proximidade ao mar e presença de raros seixos rolados à superfície.



Fig. 3.1 - Localização da Península de Setúbal (<https://maps.google.com/maps?hl=pt-PT>, (25/05/2012)).

3.1.1.1. Praia da Califórnia

Situada em plena área urbana de Sesimbra, esta praia tem uma extensão superior a 700 metros (Fig 3.2 e 3.3). A zona é caracterizada por taludes muito elevados e íngremes.

No limite este da praia as arribas são constituídas, no topo por dolomitos com 30° de inclinação e, na base por pelitos, calcários dolomíticos, evaporitos e rochas vulcânicas com inclinação próxima dos 80°. Na zona oeste os taludes são menos elevados e são constituídos por grés de várias espessuras.

A formação de consolas provoca rotura por deslizamento planar e queda de blocos de diversas dimensões.

Devido à existência de blocos instáveis de grandes dimensões onde o saneamento não é suscetível poderão ser necessários trabalhos mais duradouros de consolidação tais como, pregagens, aplicação de argamassas de enchimento e muros de suporte os quais necessitam de estudos de estabilidade geomecânica.

É necessário que se faça um reforço da sinalização no local, restringir o acesso a locais de risco muito elevado e ainda fazer monitorização e fiscalização no terreno (Fig. 3.4).

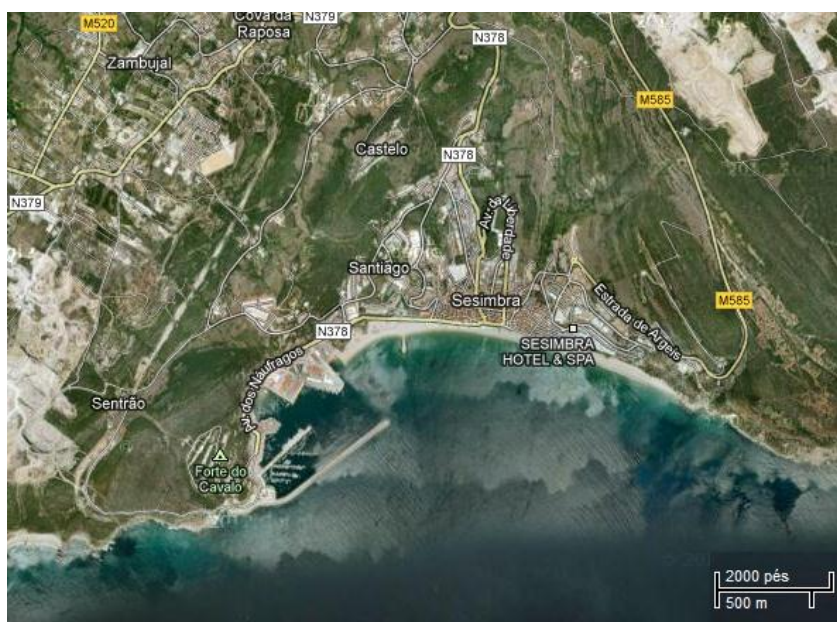


Fig. 3.2 - Mapa com a localização da praia da Califórnia (<https://maps.google.com/maps?hl=pt-PT> (25/05/2012))



Fig. 3.3 - Fotografia da praia da Califórnia em Sesimbra (<http://olhares.sapo.pt/prai-da-california---sesimbra-foto1839360.html>) (14/04/2012)

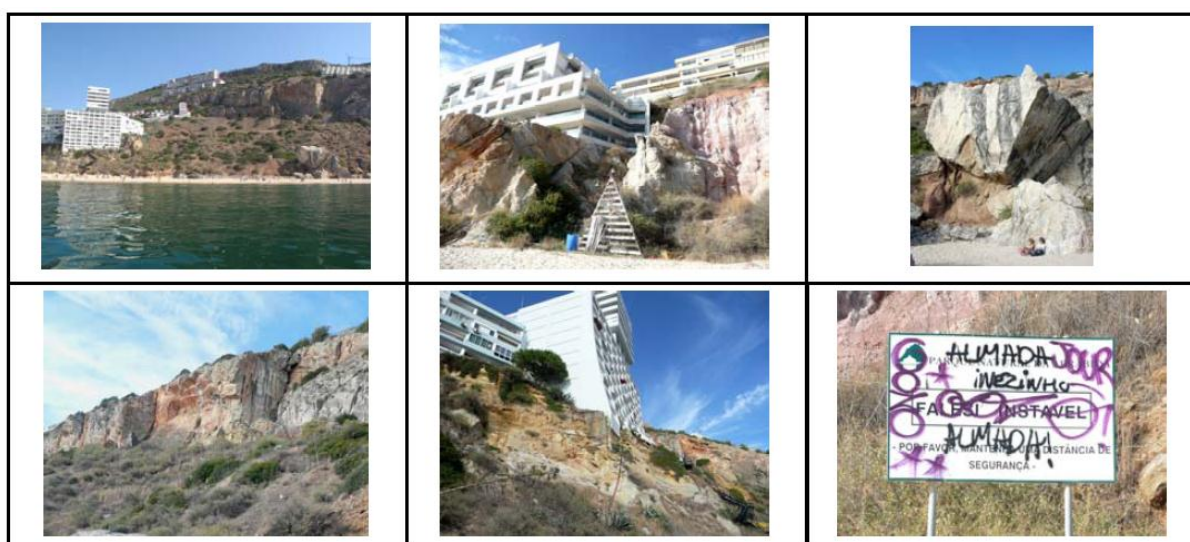


Fig. 3.4 – Pormenores das arribas da praia da Califórnia (Cruces *et al.*, 2002)

3.1.1.2. Praia da Anixa

É uma praia arenosa, com cerca de 400 metros, limitada por taludes abruptos que originam consolas no topo. De notar a evidente queda de blocos por rotura de tração (Fig. 3.5 e 3.6).

Devido ao facto de a praia ser bastante frequentada deve ser feito um estudo de taludes visando a mitigação de risco. É necessário implementar sinalização e medidas de restrição de acesso aos locais de risco mais elevado.

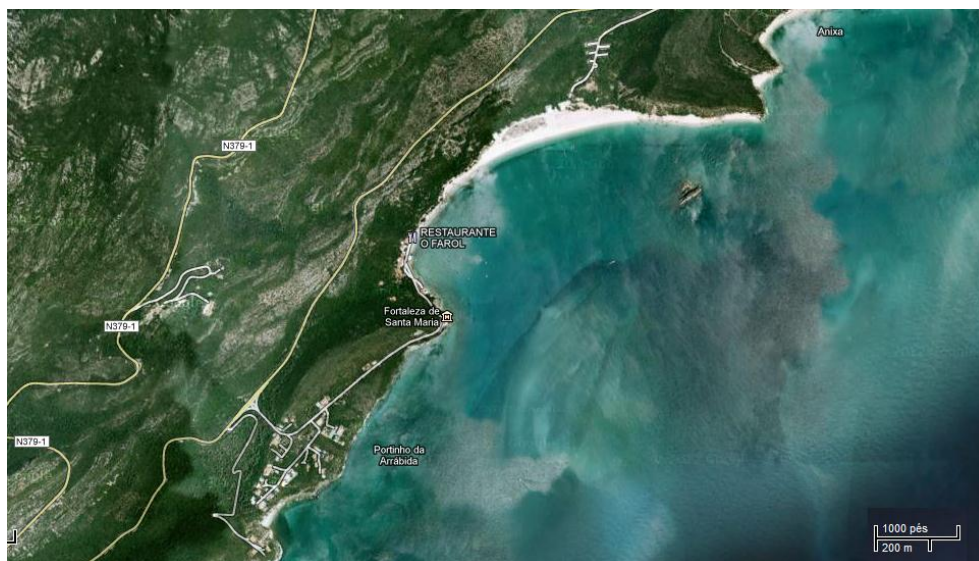


Fig. 3.5 – Mapa com a localização da praia da Anixa (<https://maps.google.com/maps?hl=pt-PT> (25/05/2012)).

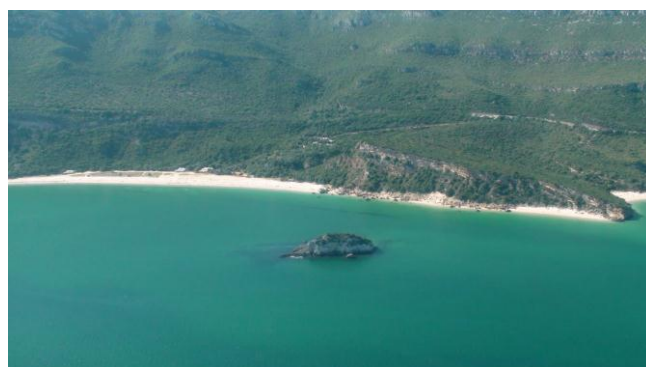


Fig. 3.6 – Fotografia aérea da praia da Anixa em Sesimbra
(<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=63254889> (14/04/2012))



Fig. 3.7 – Pormenores das arribas da praia da Anixa (Cruces *et al.*, 2002)

3.1.1.3. Praia da Comenda

Praia arenosa, com cerca de 250 metros de extensão, rodeada por afloramentos que constituem talude de altura muito elevada e com inclinação favorável aos desprendimentos de blocos de grandes dimensões (Fig. 3.8 a3.10).

As arribas são constituídas por bancada subverticais de conglomerados, arenitos e margas.

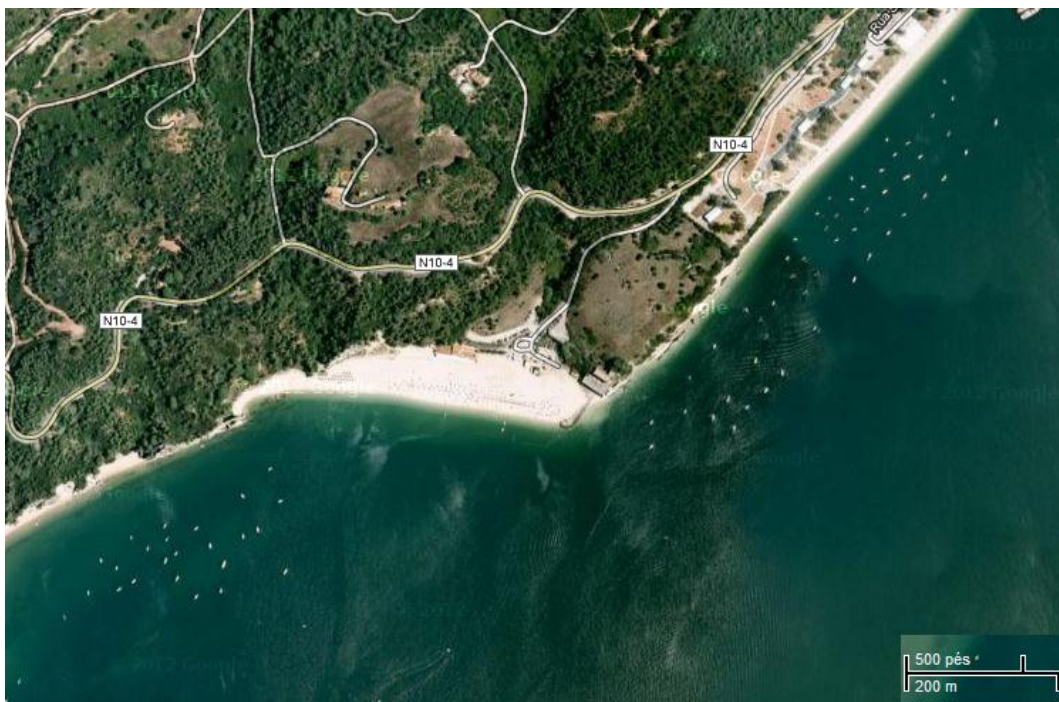


Fig. 3.8 - Mapa com a localização da praia da Comenda (<https://maps.google.com/maps?hl=pt-PT> (25/05/2012))



Fig. 3.9 – Fotografia da Praia da Comenda, Setúbal (<http://olhares.sapo.pt> (31/05/2012))



Fig. 3.10 – Pormenores da praia da Comenda (Cruces *et al.*, 2002)

3.1.1.4. Porto de Abrigo de Sesimbra

Esta arriba encontra-se sobre a estrada EN378 que dá acesso ao Porto de Abrigo. A arriba mais a oeste é constituída por calcários e dolomitos intensamente deformados (por dobramento e fracturação) enquanto a este é constituída por arenitos e argilitos em camadas com inclinação subvertical. No extremo oriental do Porto de Abrigo observa-se afloramento de filão camada (soleira) de Teeschénito com inclinação de cerca de 40° (Fig. 3.11 a 3.12).

Apresenta blocos instáveis de grande dimensão, tendo havido um desabamento recente sobre uma construção, estando previsto a reabilitação de taludes nesta zona.

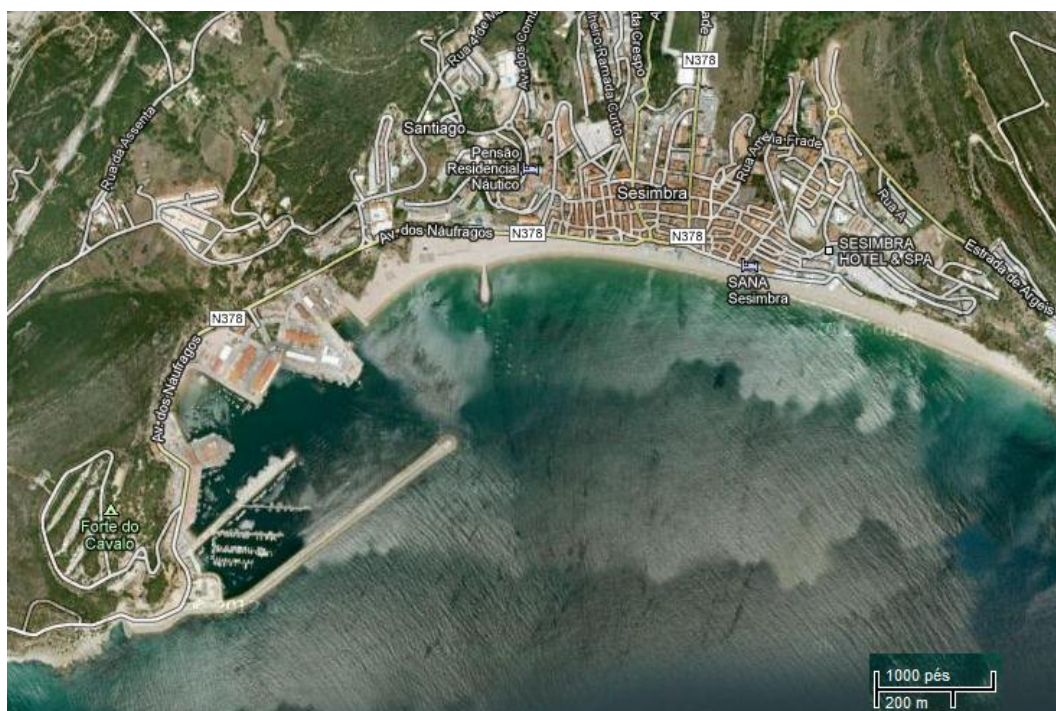


Fig. 3.11 - Mapa com a localização da praia do porto de Abrigo (<https://maps.google.com/maps?hl=pt-PT> (25/05/2012))



Fig. 3.12 – Porto de Abrigo em Sesimbra (<http://sesimbra.blogspot.pt/2008/12/clique-para-ampliar-porto-de-abrigo-e.html> (01/06/2012))



Fig. 3.13 - Pormenores do Porto de Abrigo (Cruces *et al.*, 2002)

3.2. ALGARVE

3.2.1. PRAIA MARIA LUÍSA, ALBUFEIRA

Esta praia localiza-se na costa do Barlavento Algarvio, concelho de Albufeira, 2 km a oeste de Olhos de Água.

O seu areal tem cerca de 700 m de comprimento, no entanto, apenas 280m da metade este é acessível devido ao seu grande desenvolvimento. Encontra-se enquadrado por arribas de cores quentes polidas pelo mar na base e ravinadas pelas chuvas no topo. Muito corroídas por elementos externos, estas formações rochosas apresentam muitas reentrâncias e abrigos, bem como a possibilidade de observar formas curiosas como algares (poços naturais) e arcos.

Como se pode verificar nas figuras 3.14 a 3.18, esta praia sofreu grandes alterações ao longo dos anos no que diz respeito ao recuo das arribas.



Fig. 3.14 – Fotografia aérea da praia Maria Luísa (1947) (Marques, Freire de Andrade, 2009).



Fig. 3.15 - Fotografia aérea da praia Maria Luísa (1974) (Marques, Freire de Andrade, 2009).



Fig. 3.16 - Fotografia aérea da praia Maria Luísa (1991) (Marques, Freire de Andrade, 2009).

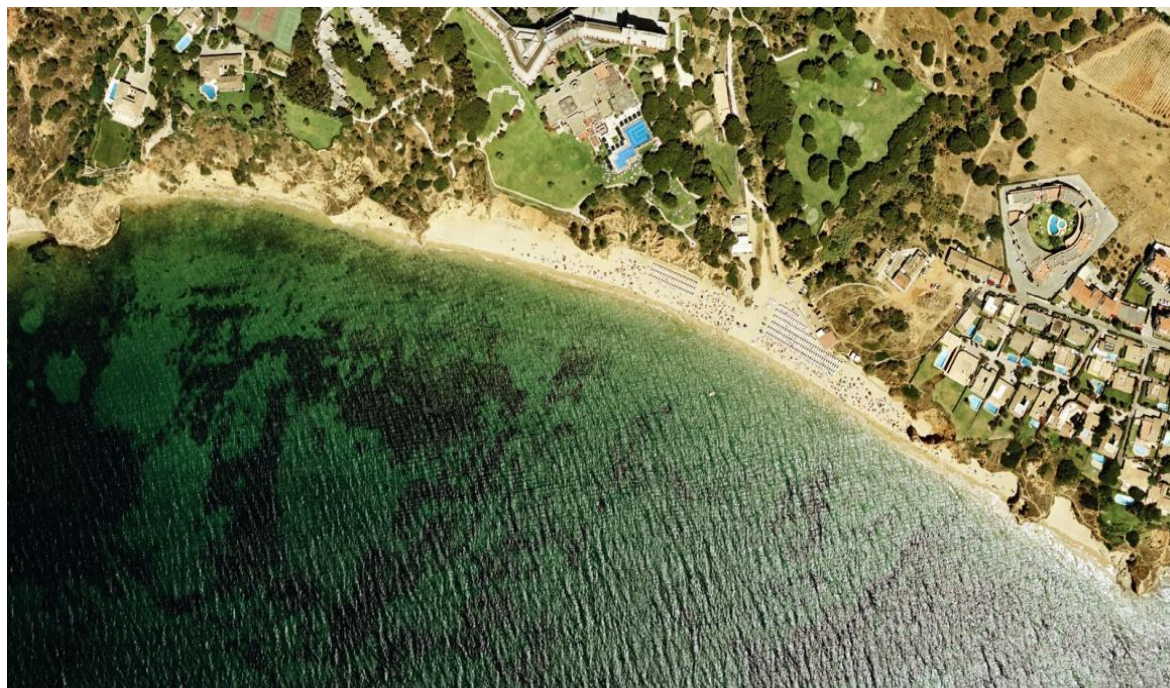


Fig. 3.17 - Fotografia aérea da praia Maria Luísa (2002) (Marques, Freire de Andrade, 2009).

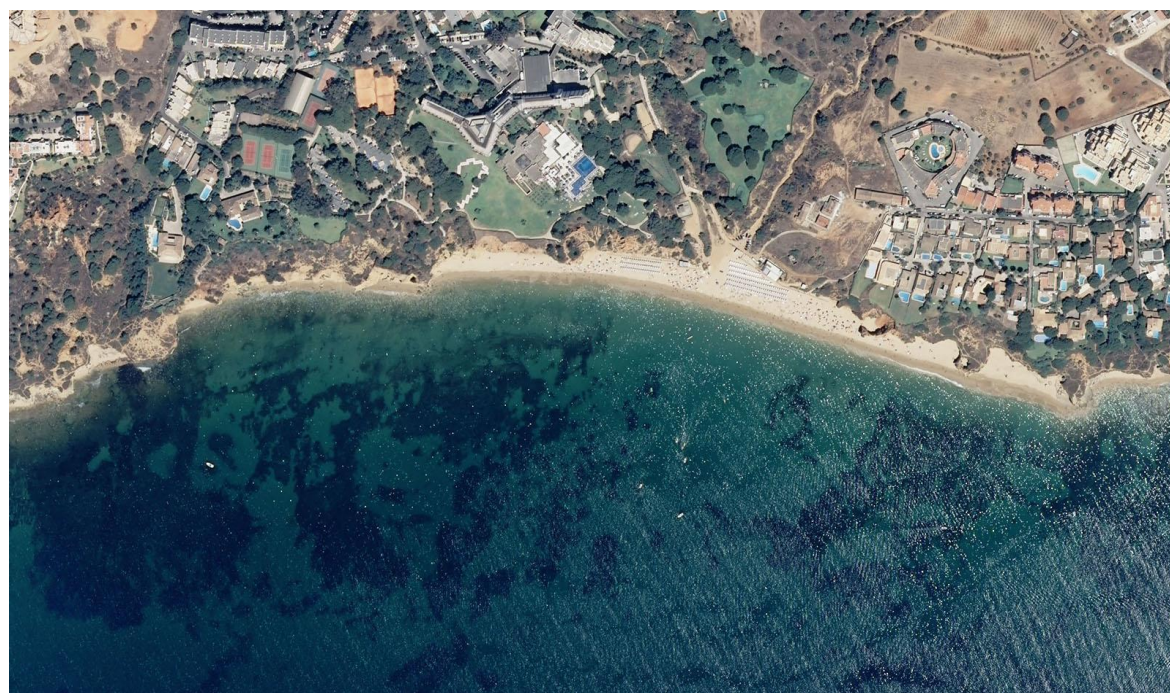


Fig. 3.18 - Fotografia aérea da praia Maria Luísa (2007) (Marques, Freire de Andrade, 2009).

A foz da ribeira que desagua nesta praia divide a praia em duas zonas distintas. A zona oeste é muito mais vulnerável que a este havendo assim muitos mais movimentos de vertente na primeira (Fig.3.19 e 3.20) (Marques, 2009).

Na última década foram efetuados três desmontes seletivos de arriba de modo a antecipar derrocadas em zonas de risco onde estava eminente a rutura das arribas (Fig. 3.21).

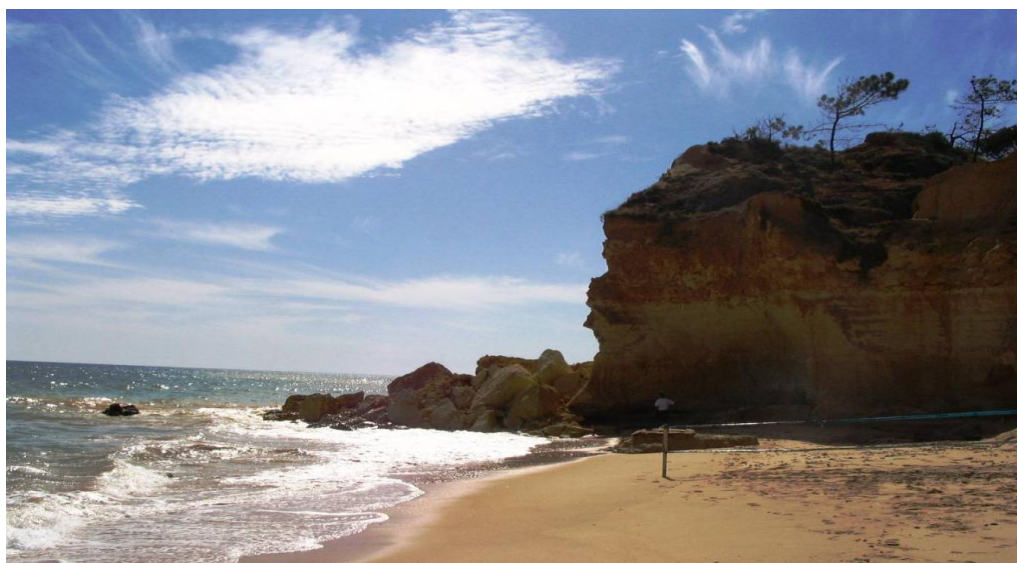


Fig. 3.19 – Colapso no extremo oeste da praia Maria Luísa em 28 abril de 2005 (Teixeira, 2009).



Fig. 3.20 – Colapso no extremo este da praia Maria Luísa em 28 março de 2008 (Teixeira, 2009).



Fig. 3.21 – Desmorte na praia Maria Luísa a 15 de Maio de 2008 (Teixeira, 2009).

Num passado mais recente é de salientar o acidente ocorrido a 21 de Agosto de 2009, em que houve uma queda de blocos do leixão na parte oeste da praia, que originou a morte de cinco banhistas.

Do inventário das fotografias obtidas em vistorias realizadas periodicamente verifica-se que, desde pelo menos 2006, o leixão está sinalizado como zona de perigo devido à sua constituição litológica.

A parte inferior pertence ao Miocénico é constituída por biocalcarenitos com um grau de consolidação intermédio e alguma fracturação, por outro lado, a parte superior pertencente ao Plio-Plistocénico é constituída por argilas e areias e tem um grau de consolidação inferior, sendo, portanto, mais branda. Esta zona da praia sofreu uma grande alteração morfológica ao longo dos últimos anos (Fig. 3.22, 3.23 e 3.24).

Este leixão possuía uma sapa. A progressão da erosão neste local pode ter levado à falta de sustentação da rocha na base propiciando, assim, a sua queda. A ação do espraio das ondas durante a maré alta das marés vivas ocorridas dias antes do acidente podem ter retirado a areia que colmatava a sapa, retirando a sustentação ao leixão e propiciando assim uma rápida fracturação e queda do bloco.

Outro motivo que poderia ter contribuído para o desabamento foi o sismo do dia 18 de Agosto de 2009, com magnitude 4.2 na escala de Richter com epicentro no Golfo de Cádiz, em que as vibrações provocadas por este podem ter originado a derrocada.



Fig. 3.22 – Extremo oeste da praia Maria Luísa em 2 Maio 2006 (Teixeira, 2009).



Fig. 3.23 – Vista da ligação do leixão a terra que iria ser desmontado em 2007 (Marques, Freire de Andrade, 2009).



Fig. 3.24 – Extremo oeste da praia Maria Luísa em 5 Junho de 2008 (Teixeira, 2009).



Fig. 3.25 - Extremo oeste da praia Maria Luísa em 24 Agosto de 2009 (Teixeira, 2009).

Após o acidente a intervenção feita com uma máquina para retirar as zonas mais frágeis descaracterizou a rocha provocando assim uma aceleração no processo de erosão.

É de salientar que este tipo de acidente tem um nível de probabilidade muito baixo, já que a maioria dos movimentos de massa ocorre durante o Inverno hidrográfico quando a ocupação das praias é baixa.

A melhor maneira de os utentes se salvaguardarem deste tipo de acidentes é seguirem as recomendações fornecidas pelas placas de perigo existentes nas praias (Fig. 3.26 e 3.27).



Fig. 3.26 – Placa referente à faixa de risco da praia Maria Luísa

(http://www.arh.algarve.pt/site/parameters/arh.algarve/files/File/upload/Faixas_de_Risco_das_Arribas/Alb1_MariaLuísa.pdf (14/03/2012).



Fig. 3.27 – Fotografia da sinalética à entrada da praia (27/08/2009) (Marques, Freire de Andrade, 2009).

3.3. SÃO MIGUEL, REGIÃO AUTÓNOMA DOS AÇORES

As ilhas dos Açores estão sujeitas à ocorrência e movimentos de massa de origem e tipologia diversas. O perigo de movimento de massa nos Açores é bastante elevado tendo em atenção a frequência com que se registam e a sua magnitude. De forma geral as zonas que oferecem mais perigo são os flancos dos vulcões centrais, as paredes de caldeiras, as vertentes mais encaixadas das linhas de água, as escarpas interiores e as arribas costeiras. É ainda de salientar que, enquanto o desprendimento de blocos ocorre em estruturas constituídas por escoadas lávicas (Fig. 3.28), o deslizamento de blocos ocorre preferencialmente nas zonas cobertas por materiais piroclásticos (Fig.3.29).



Fig. 3.28 – Escoada lávica que após a queda da arriba avançou mar adentro formando um pequeno delta lávico (Queimada, S. Jorge) (<http://geocrusoe.blogspot.pt/2008/10/deltas-lvicos-como-fajs.html> (03/06/2012))



Fig. 3.29 – Materiais brandos de escoadas piroclástica desagregadas expostos à erosão intensa do mar (Ilha do Faial, Açores) (<http://geocrusoe.blogspot.pt/2008/10/deltas-lvicos-como-fajs.html> (03/06/2012))

3.3.1. S. MIGUEL

No que diz respeito à ilha de S. Miguel há que salientar quatro tipos de mecanismo de evolução das arribas litorais provocada pela erosão marinha (Fig 3.30).

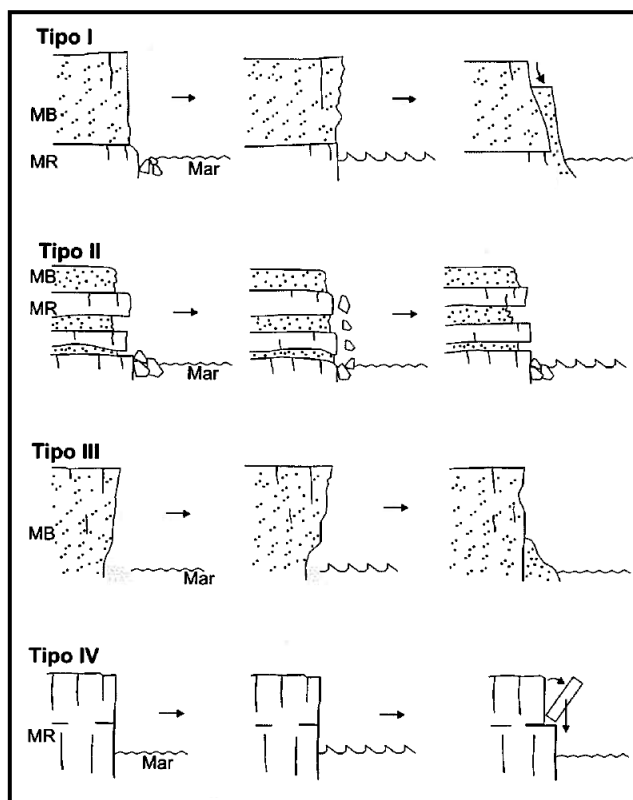


Fig. 3.30 – Mecanismos de evolução as arribas na ilha de S. Miguel (MB- material brando; MR – material resistente) ((D.R. R.nº.29/2007/A).

No primeiro tipo (Tipo I), a morfologia litoral caracteriza-se pela presença de depósitos piroclásticos não consolidados. A erosão na base, causada pelas ondas do mar e o recuo da encosta, tende a ser mais lento devido à presença de substrato rochoso e os movimentos típicos são os escorregamentos de massa e a queda de blocos, associada a fendas de tração no topo, que por vezes resultam na formação de depósitos de material detrítico na base (Fig. 3.31).



Fig. 3.31 – Arriba junto à Água d'Alto e pormenor de erosão na base (POOC São Miguel, Costa Sul).

O Tipo II corresponde a arribas com fenómenos de erosão diferencial, resultante da intercalação de níveis mais resistentes (escoadas lávicas) e mais brandos (depósitos piroclásticos de queda), típicas das encostas compostas (Fig. 3.32). Os movimentos típicos são os de erosão dos níveis mais brandos e fracturação e queda de blocos dos níveis mais resistentes que ficam em consola, dando origem à formação de depósitos de materiais detríticos na base e num lento recuo da costa.



Fig. 3.32 – Aspeto da arriba junto à praia da Baixa Areia e da arriba junto à Relva (POOC São Miguel, Costa Sul).

As arribas de Tipo III existem em zonas de costa de deposição detrítica e costas mistas. Associada à erosão marítima do pé da arriba ocorrem escorregamentos, queda e tombamento de blocos dos níveis mais superiores, podendo ainda verificar-se alguma erosão diferencial e existência de fendas de tração no topo (Fig. 3.33). Este tipo de arriba apresenta por regra praias de areia ou cascalho na base, não muito largas ou ainda arribas mergulhantes. A taxa de recuo destas arribas tende a ser maior do que nos dois casos anteriores.



Fig. 3.33 – Aspeto da arriba junto à Ponta da Graça e aspeto da arriba a oriente do Faial da Terra (POOC São Miguel, Costa Sul).

Por fim, os litorais com processo erosivos do tipo IV ocorrem em arribas mergulhantes, formadas por escoadas lávicas de alturas médias a baixas (Fig. 3.34). Os movimentos mais comuns são a queda de blocos em consequência da erosão do pé da arriba pela ação do mar e a taxa de recuo tende a ser a menor de todos os tipos apresentados.



Fig. 3.34 – Aspeto da arriba na Caloura e da arriba a ocidente do Faial da Terra (POOC São Miguel, Costa Sul).

3.3.1.1. Estabilidade do litoral

O litoral da ilha de S. Miguel, abrangida pelo Plano de Ordenamento da Orla Costeira (troço Feteiras a Ponta da Ajuda) evidencia grande diversidade de formas de erosão e consequente instabilidade, identificando-se nove troços com características semelhantes em termos de estabilidade (Fig. 3.35).

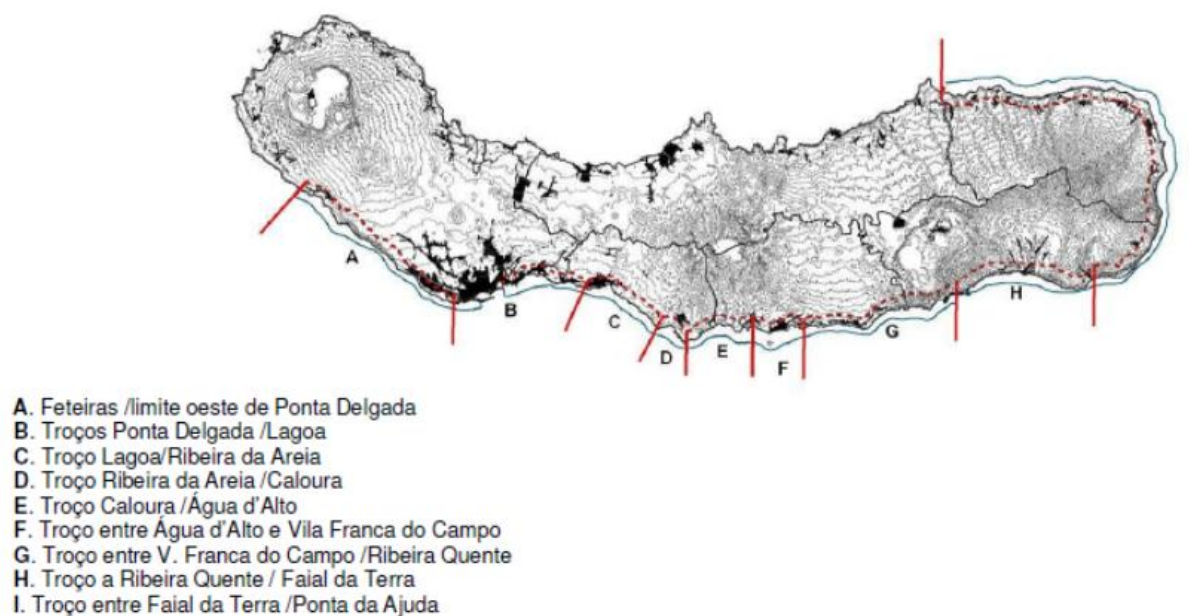


Fig. 3.35 – Identificação dos troços (POOC São Miguel, Costa Sul).

No troço de Feteiras/limite oeste de Ponta Delgada, a costa caracteriza-se por uma intensa pressão urbanística que evolui até ao limite da arriba, a qual se encontra em instabilidade acentuada. Há ainda a assinalar a estrada marginal recentemente executada, localizada na crista da arriba em acentuada instabilidade, o que propicia uma degradação rápida para a referida via de comunicação.



Fig. 3.36 – Aspeto geral da arriba e pressão urbanística local (Feteiras, Ponta Delgada) e estrada com localização inadequada e muro de suporte em terreno instável (POOC São Miguel, Costa Sul).

No troço compreendido entre Ponta Delgada e Lagoa as arribas apresentam-se estáveis, sendo de pequenas alturas e do Tipo IV.



Fig. 3.37 – Linha de costa em Lagoa, S. Miguel (<http://www.azores.gov.pt/Gra/sram-drotrh/conteudos/noticias/2009/Dezembro/nbot+20091228c.htm?lang=pt&area=ct>)

O troço de Lagoa/Ribeira da Areia evidencia um litoral de pequena altura mas com sinais de instabilidade.

O trecho entre a Ribeira da Areia e a Caloura apresenta-se estável.



Fig. 3.38 – Praia da Baixa da Areia, Caloura (<http://www.origens.pt/explorar/doc.php?id=871>)

A partir da Caloura a costa é constituída por um soco lávico com erosão cavernosa acentuada em que se sobrepõem materiais vários e que evolui até Água d'Alto.



Fig. 3.39 – Soco lávico entre Água d'Alto e Caloura (POOC São Miguel, Costa Sul).

A partir de Água d'Alto a pressão urbana sobre a arriba aumenta até Vila Franca do Campo, incidindo sobre materiais piroclásticos em que a instabilização é evidente.



Fig. 3.40 – Arriba em Água d'Alto e pressão urbanística em zona instável (POOC São Miguel, Costa Sul).

Entre Vila Franca do Campo e a Ribeira Quente a altura das arribas aumenta.



Fig. 3.41 – Arriba entre a Ribeira Quente a Ponta da Graça e arriba entre a Ponta da Graça e Vila Franca do Campo (POOC São Miguel, Costa Sul).

Entre Ribeira Quente e o Faial da Terra, as arribas mantêm altura elevadas. Em particular, a zona da Ribeira Quente evidencia instabilidade acentuada.



Fig. 3.42 – Troço entre Ribeira Quente e Faial da Terra (POOC São Miguel, Costa Sul).

Por fim, o litoral entre o Faial da Terra até à Ponta da Ajuda, que abrange os complexos vulcânicos da Povoação do Nordeste, evidencia instabilização frequente em arribas elevadas, por vezes apenas basal, outras atingindo toda a arriba.

Embora com pressão urbanística reduzida, a elevada altura das arribas da costa entre o Faial da Terra até à Ponta da Ajuda, fazem desta zona uma das mais críticas da ilha, demonstrada pela enorme quantidade de escorregamento evidenciada ao longo deste troço.



Fig. 3.43 – Deslizamento na arriba (Faial da Terra – Fajã do Calhau) (POOC São Miguel, Costa Sul).

3.3.1.2. Faixa de risco

Em relação à garantia de uma “faixa de proteção à crista da arriba” (assunto a abordar no capítulo 4) e se não existirem outras demarcações mais específicas para os casos em análise, devem ser aplicadas as alíneas h) e i) do Anexo II do Decreto-Lei nº 93/90 de 19 de Março, alterado pelo Decreto-Lei nº 213/92 de 12 de Outubro e pelo Decreto-Lei nº 166/08, de 22 de Agosto e outras alterações ou seja “encostas com declive superior a 30%”, e “escarpas e abruptos de erosão com desnível superior a 15 m”, as faixas de proteção deverão ter largura igual a uma vez e meia a altura do desnível, medidas a partir do rebordo superior e da base (Veloso Gomes *et al*, 2012).

3.3.1.3. Monitorização de arribas e vertentes nos Açores

A monitorização das arribas e vertentes visa fundamentalmente os seguintes objetivos:

- Estudar e quantificar os fenómenos associados à instabilidade, tais como modelos de rotura, mecanismos envolvidos, evolução no tempo, entre outros;
- Possibilitar a avaliação de riscos baseada em dados reais, permitindo acionar os mecanismos adequados à proteção das populações e dos seus bens, incluindo a eventual instalação de sistemas de alerta e aviso;
- Contribuir para a escolha das soluções mais corretas para intervenções de estabilização, em casos em que tal se justifique.

A frequência dos locais a monitorizar e a rede inicial de pontos a monitorizar depende de cada ilha e deverá ser flexível para serem ajustados ao longo do tempo e, ao mesmo tempo, permitir o tratamento de informação em tempo útil.

3.3.1.4. Plano de Ordenamento da Orla Costeira de São Miguel Costa Sul

Projetos relacionados com arribas (Tabela 1 a 3).

Tabela 1 – Minimização de situações de risco e de impactos ambientais, sociais e económicos, Plano de monitorização (Veloso Gomes, *et al*, 2012).

Objetivo 3	Minimização de situações de risco e de impactos ambientais, sociais e económicos
Programa 3.1	Projeto
Plano de monitorização	Monitorização da falésia marginal entre Ponta Delgada e Relva
	Monitorização de uma encosta na Caloura
	Monitorização da vertente sobranceira à Ribeira Quente
	Monitorização de uma encosta na Povoação
	Monitorização de uma encosta no Faial da Terra
	Monitorização da falésia sobranceira à Fajã do Calhau
	Monitorização da vertente costeira entre a Ponta da Marquesa e a Ponta da Madrugada

Tabela 2 - Minimização de situações de risco e de impactos ambientais, sociais e económicos, Intervenções prioritárias (Veloso Gomes, *et al*, 2012).

Programa 3.2	Projeto
Intervenções prioritárias	Sensibilização e divulgação das áreas instáveis e sujeitas a elevados riscos naturais
	Estudo de viabilidade técnico-financeiro das obras de consolidação e reabilitação das arribas adjacentes a Santa Clara
	Estudo de viabilidade técnico-financeiro das obras de consolidação e reabilitação das arribas adjacentes à Relva

Tabela 3 - Minimização de situações de risco e de impactos ambientais, sociais e económicos, Melhoria das condições operacionais da proteção civil (Veloso Gomes, *et al*, 2012).

Programa 3.3	Projeto
Melhoria das condições operacionais da proteção civil	Definição de procedimentos a adotar em situações de risco ou catástrofe
	Sinalização de riscos nos acessos à orla costeira, nomeadamente de arriba e vertentes instáveis

Exemplo de um projeto em execução de proteção de uma arriba (Tabela 4):

Tabela 4 – Exemplo de um projeto de execução de proteção de uma arriba (Veloso Gomes, *et al*, 2012).

São Miguel Costa Sul	Povoação	Ribeira Quente	Praia do Fogo	Estabilização do talude adjacente à praia da Ribeira Quente	Custo: 675.000,00 euros
----------------------	----------	----------------	---------------	---	-------------------------

Empreitada adjudicada e com início de trabalhos previstos para janeiro de 2012 (Resolução do Conselho do Governo n.º 13/2012 de 3 de Fevereiro de 2012).

Justificação oficial para a intervenção: Face aos fenómenos naturais de desgaste da arriba adjacente à Praia da Ribeira Quente, em consequência da meteorização do território, a mesma está a colocar em perigo a praia, torna-se imperioso e urgente proceder à sua estabilização.

Processos de expropriação e respetivos encargos: previsão de € 149 200,00.
Secretaria Regional do Ambiente e Mar. Adjudicação: 525 000 euros. Prazo 180 dias.

Na Planta de Síntese do POOC São Miguel Costa Sul está prevista esta intervenção de proteção costeira, a qual foi introduzida na fase de discussão pública (Fig. 3.44). A equipa técnica que elaborou o POOC não havia considerado, por opção, esta intervenção. O Plano de Intervenções do POOC prevê na ficha 3.1.03 – Monitorização da Vertente Sobranceira à Ribeira Quente – a execução de projetos e obras de estabilização específicas sempre que for possível.



Fig. 3. 44 – Placa da empreitada de estabilização do talude adjacente à Praia da Ribeira Quente, Povoação – São Miguel (Veloso et al, 2012)

4

PREVENÇÃO, MITIGAÇÃO E PROTECÇÃO

Deve promover-se um desenvolvimento sustentável do litoral que, por um lado, permita a protecção das pessoas, dos bens, das actividades e, por outro, preserve os recursos naturais e o seu funcionamento no ecossistema costeiro.

De seguida apresentam-se medidas de ordenamento e alternativas técnicas relacionadas com a prevenção, mitigação e protecção em relação a situações de risco em arribas costeiras.

4.1. ORDENAMENTO

Deve apostar-se na prevenção dado ser uma medida que economicamente acaba por ser compensatória e mais fácil de concretizar na redução do risco associado à ocorrência de movimentos de massa de vertente em litoral de arriba.

Os Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC) dispõem de medidas de gestão que têm em atenção as especificidades e os riscos associados à evolução litoral, definindo faixas de protecção nos litorais de arriba, designadas por Faixas de Risco. Estas faixas correspondem a áreas paralelas à linha da costa em que, num período pré-definido (50-100 anos), é provável que se façam sentir fenómenos de instabilidade e erosão. Nestas áreas os usos e ocupação do solo são interditos ou condicionados, de forma a prevenir a erosão excessiva da costa provocada por ação e ocupação humana, e também minimizar a probabilidade de ocorrência de acidentes com consequências graves para pessoas e bens.

4.1.1. DEFINIÇÃO E APLICAÇÃO DAS FAIXAS DE RISCO

Quando se fala em risco há que ter em conta um produto de três fatores: vulnerabilidade, exposição e perigosidade. A vulnerabilidade exprime a suscetibilidade de determinada zona do litoral ser afetada por um evento. A exposição representa o conjunto de pessoas e bens expostos a um perigo natural. Por fim, a perigosidade é o produto da intensidade do fenómeno pela sua probabilidade de ocorrência.

As faixas de risco associadas a arribas podem ser de vários tipos, dependendo da zona em causa:

- “Faixa de risco adjacente ao sopé da arriba” (FRS), largura da faixa de risco junto à base das arribas (Fig. 4.1) que corresponde à área que pode ser atingida por fragmentos provenientes da ocorrência de movimentos de massa de vertente (queda de blocos, escorregamentos planares, tombamentos).

- “Faixa de risco adjacente à crista da arriba” (FRC) é a largura da faixa de terreno adjacente à crista das arribas. É medida a partir da crista para o interior, perpendicularmente ao contorno plano das arribas (Fig. 4.1).
- “Faixa de proteção adicional” (FPA) que é a largura da faixa de terreno que acresce, do lado de terra, à faixa de risco adjacente à crista das arribas (Fig.4.1).

As faixas de risco correspondem, portanto, a áreas paralelas à linha de costa, sendo marcadas para o lado do mar e contadas a partir da base da arriba no caso das FRS e marcadas para o lado de terra e contadas a partir da crista da arriba no caso da FRC (Fig. 4.2).

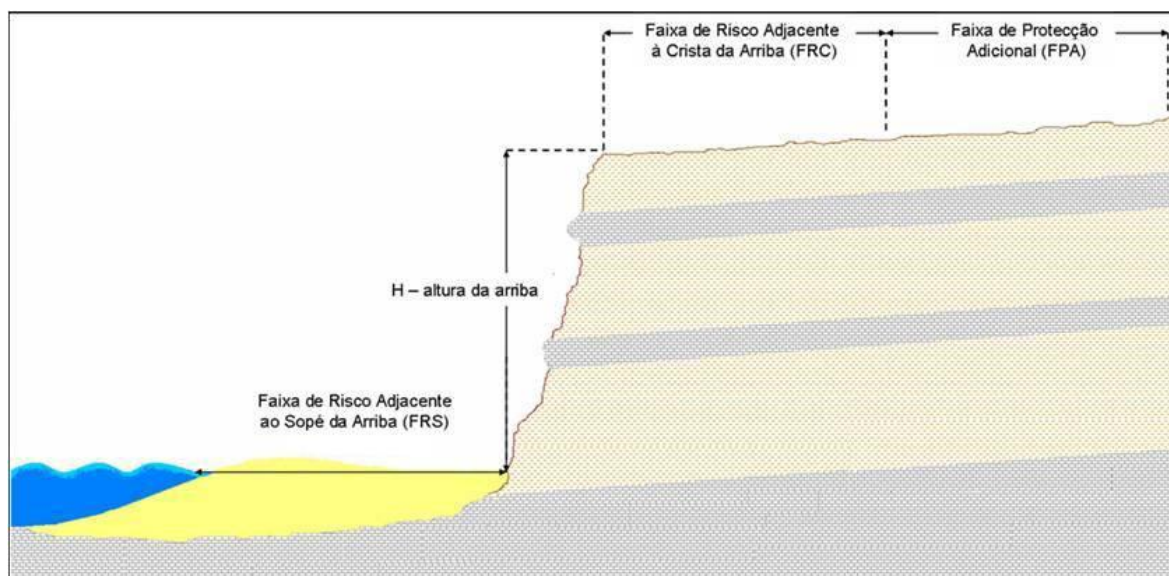


Fig. 4. 1 – Perfil esquemático da representação da faixa de risco (CCDR-LVT, 2006).



Fig. 4. 2 – Representação espacial dos três tipos de faixas de risco.

Na faixa de risco adjacente à crista da arriba deve ser regularizada a drenagem pluvial, de forma a minimizar os efeitos da erosão sobre as arribas sendo ainda interditas várias ações tais como, a ocupação de cargas permanentes, a construção de novos acessos, a construção ou manutenção de áreas de estacionamento e a rega intensiva e a infiltração de águas residuais.

Na faixa de proteção adicional está interdita a realização de novas construções ou de obras de urbanização.

Por fim, na faixa de risco adjacente ao sopé da arriba (Fig. 4.3 e 4.4) é interdita a instalação de apoios de praia, de equipamentos ou de infraestruturas portuárias, devem ser sinalizadas as áreas de risco e deve ser interdito o uso das áreas críticas suscetíveis de serem atingidas por escorregamentos e, ou, desmoronamentos eminentes.



Fig. 4. 3 - Praia do Amado (Algarve). A sinalética afixada indica as áreas de risco (<http://www.arh Algarve.pt/site/index.php?module=ContentExpress&func=display&ceid=119&meid=-1> (14/03/2012)).



Fig. 4. 4 - Praia do Alvor nascente (Algarve). Todo o areal fica em zona de risco mesmo em baixa mar.

4.1.2. MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO/MITIGAÇÃO DO RISCO

Os fenómenos de instabilidade associados à evolução das arribas justificam a adoção de medidas de mitigação do risco, em particular nas praias com maior uso balnear e nas áreas adjacentes à crista das arribas, de forma a minimizar a probabilidade de ocorrência de acidentes com consequências graves para pessoas e bens. As medidas a adotar dependem do contexto geomorfológico, da tipologia do risco associado e do tipo de ocupação presente (edificações, acessos, estacionamento, ocupação humana associada à atividade balnear). Devem, portanto, ser consideradas as seguintes ações de minimização do risco:

- Sinalização de locais e áreas de risco (para informar e responsabilizar os utentes para os riscos inerentes à sua localização) (Fig. 4.5 e 4.6);



Fig. 4.5 – Sinalização de perigo na praia da Falésia- Açoteias.



Fig. 4.6 – Sinalização de perigo de instabilidade de massa na praia da Ferraria em S. Miguel, Açores.

- Delimitação física de zonas de perigosidade elevada na base e no topo das arribas através de balizamentos;
- Interdição de setores de praia ou arriba (estacionamentos, acessos, passeios pedonais, estradas) com vista à restrição espacial de permanência local (Fig. 4.7);



Fig. 4.7 – Placa de sinalização que alerta para o não estacionamento na arriba

- Realização de operações de remoção de blocos instáveis em situação de equilíbrio limite e reperfilamento da face das arribas mais problemáticas em termos de estabilidade (Fig. 4.8).



Fig. 4.8 – Medidas de minimização do risco de queda de blocos

Nas áreas urbanas localizadas em zonas de arriba com sintomas de instabilidade elevada, a gestão do risco deve ser equacionada no sentido de anular ou restringir severamente o risco para as pessoas e bens localizados nestas áreas, de forma a assegurar a manutenção das condições de segurança exigidas para a ocupação humana ao longo de um horizonte temporal mais alargado. Neste contexto, deve ser ponderada a realização de intervenções de proteção/defesa costeira devidamente ajustadas às características geológicas/geotécnicas locais, aos mecanismos de instabilização da arriba, grau de risco verificado, bem como às especificidades paisagísticas e ambientais.

4.2. SOLUÇÕES TÉCNICAS

Em casos justificados por razões de segurança é necessário recorrer-se a algumas soluções técnicas para estabilizar as arribas.

Qualquer obra tem impactos negativos. Logo, deve ter-se sempre em atenção qual a técnica mais adequada ao problema provocando o menor impacto ambiental possível.

A defesa costeira pode ser feita recorrendo a métodos “pesados” ou a métodos “soft”. Os primeiros têm como principal objetivo proteger as arribas contra os riscos imediatos. Este tipo de proteção tem consequências a médio prazo visto que as intervenções modificam as dinâmicas do funcionamento do meio, agravando muitas vezes a erosão costeira na proximidade da zona protegida e são geralmente muito dispendiosas, tendo, no entanto, uma grande longevidade e maior eficácia.

De uma forma geral as intervenções ditas “pesadas” mais comuns consistem na execução de redes metálicas de proteção, sistemas de pregagens, betão projetado pigmentado à cor da arriba e muros de suporte em betão armado ou pedra na base da arriba.

As intervenções pesadas de carácter excessivamente artificial apenas deverão ser equacionadas em contextos muito específicos, e onde o objetivo principal seja garantir o grau de proteção máximo, isto é, reduzir o risco ao mínimo possível. Este tipo de intervenção é associado a áreas urbanizadas e em determinadas praias de uso intensivo.

Em numerosos locais, as soluções possíveis para evitar o desmoronamento das arribas agravam a erosão nas zonas que se querem proteger e nas margens mais próximas porque deixam de constituir fontes sedimentares.

As soluções mais “soft”, têm maiores preocupações ambientais. Estas soluções são concebidas para trabalhar com a natureza integrando a dinâmica natural do litoral e a mobilidade da linha da costa em pequenas superfícies, mas podem ser menos eficazes.

A fim de reduzir as instabilidades nas arribas rochosas vivas são possíveis dois tipos de ação. O primeiro diz respeito à proteção no sopé da arriba limitando a erosão marítima e estabilizando a base do talude. Este tipo de opção geotécnica pode ser passiva ou ativa. A passiva não impede a instabilidade mas procura evitar as suas consequências ou pelo menos limitar o seu impacto. As ativas impedem diretamente o movimento de terras.

O outro tipo de solução diz respeito à estabilização da vertente contra as ações do mar. Estes métodos têm em conta o tipo de instabilidade, a natureza dos desafios a proteger, as condições de acesso, a geometria da arriba, o regime hidráulico e as forças mecânicas aplicadas à arriba.

Seguidamente serão apresentadas as principais técnicas utilizadas na estabilização de arribas costeiras.

4.2.1. VEGETAÇÃO

A vegetação tem grande importância da estabilização dos maciços rochosos. A plantação de vegetação previne os riscos de instabilidade dado que ajuda a reter o terreno uma vez que as raízes de plantas (espécies de crescimento rápido e com enraizamento profundo) agarram o substrato e evitam os movimentos de terra. Nas zonas mais estáveis a cobertura vegetal contínua funciona como camada protetora.

A vegetação permite ainda travar a velocidade de escoamento da água favorecendo a acumulação de sedimentos finos.

Este tipo de técnica tem impacto paisagístico e ambiental favorável e é bastante económico (Fig. 4.10). Tem a vantagem de ser natural, sendo necessário adequar o tipo de vegetação à condicionante que é a proximidade ao mar, diferenciando-se em função do grau de exposição aos ventos marítimos. O rebordo das arribas é colonizado por espécies rasteiras devido à sua exposição e à influência marinha pois acabam por ser fustigados por ventos fortes carregados de sal proveniente da água do mar. Tem como exemplo a salgadeira. Nas zonas mais resguardadas da influência marítima pode ter-se o zimbro e o carrasco, a palmeira-anã e a aroeira. Posteriormente a esta zona pode encontrar-se o pinheiro-de-lepo que é uma espécie muito resistente à secura e que consegue colonizar os solos pedregosos das arribas (Fig. 4.9).

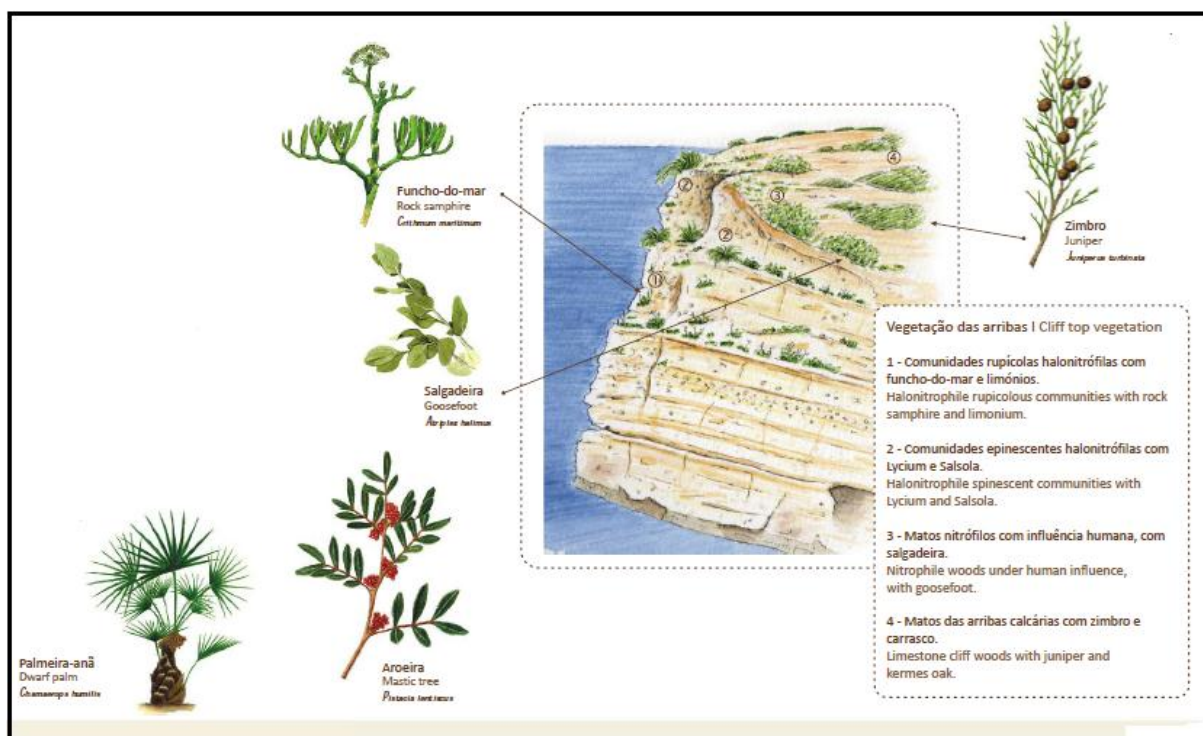


Fig. 4.9 – Esquema representativo do tipo de vegetação a utilizar em arribas costeiras



Fig. 4.10 - Praia de Albufeira nascente (Algarve). Proteção de pé do talude de uma arriba com estruturas de madeira constituindo plataformas com vegetação.

Por outro lado esta técnica só pode ser utilizada em pequenas áreas de terreno e não é definitiva, é necessário substituir a vegetação morta. O crescimento excessivo das raízes pode ainda provocar fraturas nas rochas o que pode provocar desabamentos.

A aplicação desta técnica não tem como objetivo combater a erosão mas acompanhar os processos erosivos e aumentar a segurança de uma forma mais natural.

4.2.2. REALIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS NO SOPÉ DA ARRIBA

A realimentação de sedimentos tem como objetivo compensar a deficiência sedimentar do litoral devido à erosão marítima e aos impactos antropogénicos. A sua finalidade é alimentar as praias por camiões ou por dragas. Os sedimentos são espalhados na praia por máquinas de terraplanagem. As realimentações podem ser feitas regularmente ou ser de carácter pontual. Cada intervenção deve ser adaptada de acordo com a natureza e o volume dos materiais, da batimetria e topografia, dos povoamentos de águas pouco profundas e do regime de vagas e das correntes litorais. É necessário, ainda, ter uma avaliação da velocidade média anual do recuo da orla costeira de forma a prever o horizonte de intervenção.

Este método, cujo impacto paisagístico é pouco significativo permite limitar a erosão no sopé da arriba contra as ações marítimas e consequentemente ter um efeito estabilizador na base da arriba (Fig. 4.11).

Há que ter em atenção que o material utilizado deve encontrar-se próximo do local de depósito para limitar os custos. Além disso, o volume de depósito deve ser suficientemente importante para todas as operações de realimentação. Uma boa qualidade de areia ou de calhaus rolados é essencial, não trazendo sedimentos poluídos ou mais finos do que os da zona alimentada. Em alguns casos estes métodos não se adequam, como é o caso da zona estar sujeita a forte ondulação e ter difícil acesso. A realimentação com calhaus rolantes é mais rara devido aos meios técnicos caros associados. As

dragagens e os aterros podem perturbar a biodiversidade local das zonas de recolha e de depósito, promovendo a destruição de habitats e o aumento da turvação da água.



Fig. 4.11 - Praia de Albufeira ponte (Algarve). Areal resultante da alimentação artificial com areias para proteção das arribas e aumento da área balnear.

4.2.3. REDEFINIÇÃO DOS PERFIS DA ARRIBA

Esta técnica consiste em remover massas da zona ativa e, ou, reduzir a inclinação da arriba (Fig. 4.12).

As obras de redefinição de perfis melhoram as condições de estabilidade de uma arriba, pois reduzem o peso da zona ativa. No entanto é necessário um bom conhecimento da estrutura geológica e das condições de infiltração da água. Este método consiste em melhorar a estabilidade geral da arriba e proporcionar-lhe uma geometria mais adequada eliminando os blocos instáveis e perigosos. Em alguns casos podem ser criados degraus a diversos níveis.

O custo deste tipo de obra é pouco elevado se o reperfilamento não for de grande volume e existirem condições de acesso. Os estudos de projeto são relativamente simples mas exigem um acompanhamento cuidadoso sendo esta uma solução sustentável. Permite tratar de zonas onde os volumes em causa são potencialmente pouco importantes.

Esta técnica pode induzir a um recuo significativo no topo da arriba, o que exige a ausência de zonas edificadas próximas do seu bordo. Pode ainda perturbar a biodiversidade litoral, principalmente a destruição de habitats. Esta técnica não pode ser aplicada a todos os tipos de arribas sobretudo no caso de vertentes muito inclinadas tendo ainda um forte impacto visual.

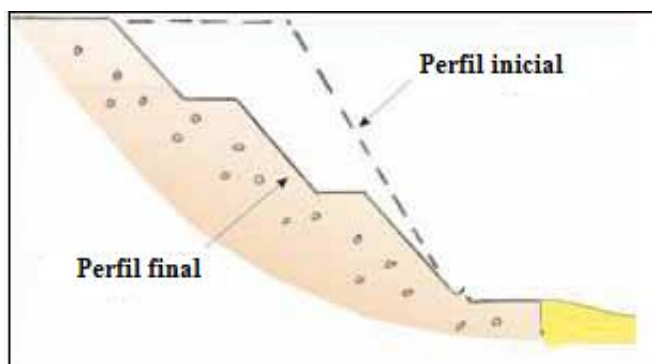


Fig. 4.12- Esquema da redefinição dos perfis de uma arriba (Ancorim, 2012).

4.2.4. SISTEMAS DE DRENAGEM

A drenagem consiste na eliminação ou redução dos escoamentos e infiltrações superficiais na arriba ou provocar um abaixamento do nível freático.

Os sistemas de drenagem por caleira de drenagem (Fig. 3.14) consistem em recolher e evacuar as águas de escoamento antes que ocorra infiltração.

Este tipo de sistema tem baixo custo e permite atrasar a degradação da arriba. No entanto é relativamente frágil necessitando de manutenção frequente. Quanto ao impacto paisagístico, este depende do tipo de material utilizado nas caleiras e da repartição das mesmas ao longo da arriba.

Os sistemas de drenagem por drenos sub-horizontais são constituídos por tubos de pequeno diâmetro (metálicos ou plásticos) inclinados para o exterior a fim de permitirem o escoamento dos lençóis de água que propiciam a degradação das rochas das arribas. A sua instalação faz-se desde a superfície da vertente por furos e introdução de tubos que permitem a drenagem.

O impacto paisagístico é reduzido. No entanto tem o inconveniente de criar espaços livres ao redor dos drenos num prazo mais ou menos longo, risco que exige a necessidade de manutenção regular (método por insuflagem). Conforme o local, este método permite um abrandamento do problema mas não conseguirá necessariamente detê-lo por completo.

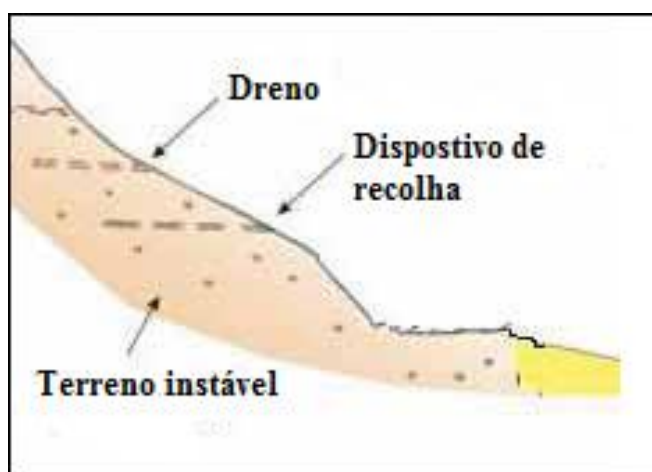


Fig. 4.13 - Esquema do processo do sistema de drenagem por drenos sub-horizontais (Ancorim, 2012).

4.2.5. SISTEMAS DE PREGAGENS (ANCORAGENS)

Uma ancoragem é um elemento estrutural que, instalado no solo ou em rocha, transmite a uma zona interna do terreno uma carga de tração aplicada. São normalmente constituídas por cabos ou varões de aço de alta resistência, instalados em furos previamente abertos no terreno e selados ao maciço com calda de cimento (Fig. 4.14 e 4.15).

Estas técnicas melhoram a estabilidade da arriba em relação às massas rochosas localizadas e de volume relativamente limitado. Estes métodos são sobretudo utilizados para a resolução de problemas a jusante se houver instabilidade no topo da arriba. O princípio é ancorar os elementos instáveis na rocha sã, por trás, pela colocação de cavilhas ou de tirantes.

É uma solução sustentável mas que necessita de inspeções regulares para verificar o estado das ancoragens.

Este método só se adapta a estabilizações pontuais e para volumes bastante limitados. O campo de aplicação desta técnica só diz respeito a derrocadas pequenas e médias bem como ao desprendimento de blocos médios ou grandes. A sua execução pode ser muito complexa, naturalmente dispendiosa. Necessita de manutenção regular e não é aplicável a todo o tipo de arribas.

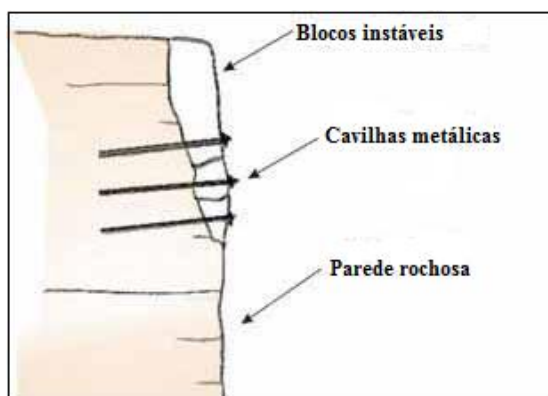


Fig. 4.14 - Esquema do processo das ancoragens por cavilhas metálicas (Ancorim, 2012).



Fig. 4.15 - Praia de Albufeira nascente (Algarve). Proteção da arriba com betão projetado, ancoragens, estrutura vigada de betão armado e estruturas de madeira constituindo plataformas com vegetação.

4.2.6. GEOGRELHA REFORÇADA

As geogrelhas são utilizadas como elemento de reforço em obras geotécnicas e de proteção ambiental. A sua principal característica é que a abertura da malha é grande o suficiente para permitir o desenvolvimento de vegetação.

Esta técnica permite sobretudo manter in situ os blocos instáveis. Estes métodos são sobretudo utilizados para a proteção de elementos importantes a jusante. As redes ou grelhas sobrepostas ao muro, por ancoragens curtas, permitem proteger os elementos instáveis a fim de evitar as derrocadas. Apenas são tratadas as instabilidades rochosas de volume bastante reduzido.

Constitui uma alternativa às técnicas mais pesadas acarretando um custo mais reduzido. Os estudos de projeto são simples mas não é possível prescindir do recurso a empresas especializadas. É uma solução sustentável.

Esta solução não é adequada a deslizamentos profundos, somente a deslizamentos superficiais. Exige uma vigilância periódica a fim de verificar o estado do sistema. Os grandes blocos instáveis devem ser retirados (Fig. 4.16).

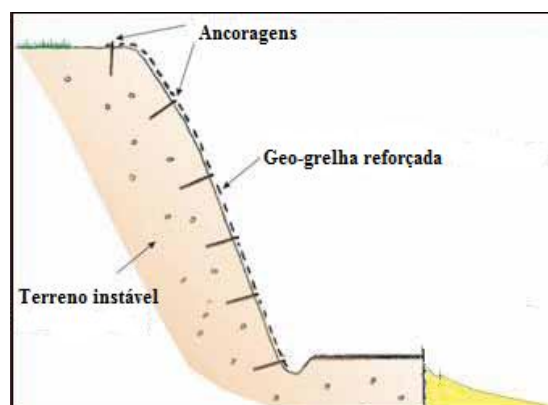


Fig. 4.16 - Esquema do processo de uma geogrelha reforçada (Ancorim, 2012).

4.2.7. CORDÕES DE ENROCAMENTO

Trata-se da colocação de enrocamento na base da arriba. Este processo tem como consequência atenuar a erosão pela ação marítima na base da arriba. Este método aproxima-se do método de realimentação de sedimentos, contudo este permite reconstruir um muro estabilizador na base da arriba (Fig. 4.17).

É um método sustentável e pouco dispendioso desde que existam acessos adequados. A dificuldade dos estudos e os custos podem variar em função do local onde a intervenção irá ser realizada.

Esta técnica opõe-se na maior parte das vezes ao desenvolvimento de deslizamentos pouco profundos nas vertentes de inclinação média e pode igualmente ser utilizada em casos de deslizamento de amplitude bastante limitada na parte inferior da arriba. Esta técnica não está portanto adaptada às instabilidades na parte alta da arriba. Os enrocamentos devem ser dimensionados em relação às condições de tempestade. Este método pode deter os aluviões sedimentares resultantes do recuo da arriba. É necessária uma vigilância periódica. O impacto paisagístico é relativamente forte na zona costeira em causa se não existirem situações naturais semelhantes.

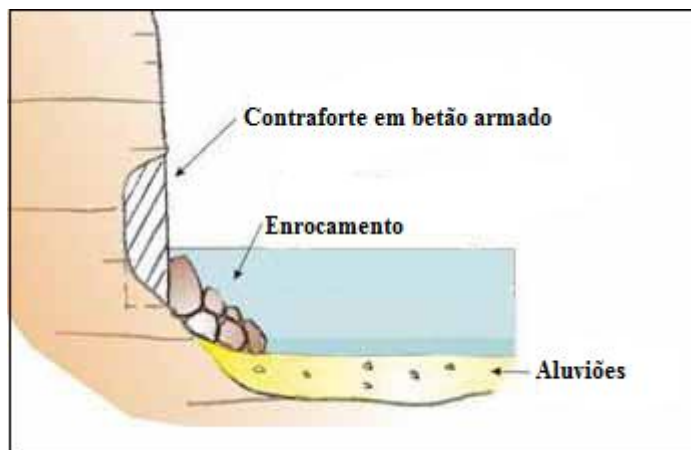


Fig. 4.17 - Esquema da combinação de duas soluções geotécnicas: enrocamento e contrafortes de betão (Ancorim, 2012).

4.2.8. REDES METÁLICAS DE PROTEÇÃO

Esta técnica serve para prender blocos instáveis. Estas redes são fixadas usando ancoragens curtas e têm como objetivo envolver elementos instáveis e prevenir deslizamentos de rochas (Fig. 4.18).

Esta solução permite tratar corretamente certos problemas de saliências rochosas. A sobreposição de um compartimento pode contribuir para evitar a desestabilização de uma parte da arriba mais instável.

Os estudos prévios podem ser complexos, daí a necessidade de recorrer a empresas especializadas. Recomendam-se inspeções regulares. O impacto paisagístico mantém-se forte apesar da intervenção localizada.



Fig. 4.18 – Rede de proteção em arriba no acesso à Fajã do Calhau, S. Miguel, Açores.

Recentemente foram desenvolvidas redes metálicas mais robustas. Como exemplo, a GEOBRUGG, empresa suíça, desenvolve e produz redes e malhas compostas de cabos de aço de alta resistência.

As soluções oferecidas por esta empresa, para utilização em arribas na proteção contra quedas de rochas, são constituídas por fios de aço composto de alta resistência.



Fig. 4.19 – Diversos tipos de proteção contra a queda de rochas (GEOBRUGG).

Existem ainda soluções preparadas para estabilizar taludes íngremes que consistem em, após a limpeza, planagem e perfilagem, cobrir o talude com uma malha de arame de aço pré-tensionado com uma força definida com pregos para solo ou rocha e placas de fixação. Esta técnica para além de evitar o deslizamento também evita o desabamento.



Fig. 4.20 – Malha e placas de fixação utilizadas na estabilização de taludes (GEOBRUGG).



Fig. 4.21 - Montagem da malha (GEOBRUGG).



Fig. 4.22 – Sistema de proteção de taludes (GEOBRUGG).

4.2.9. BETÃO PROJETADO

Esta técnica não necessita de cofragens nem tempo de secagem visto que este é praticamente imediato na hora de projeção. A utilização deste betão especial permite ainda reduzir a espessura necessária promovendo maior flexibilidade, reduzindo os custos associados e tempo de obra (Fig. 4.23 a 4.25).

Na utilização de betão projetado verifica-se a inexistência de falhas dado que não existem juntas. O betão quando projetado é vibrado o que garante a inexistência de poros, permitindo assim a estanqueidade de toda a estrutura.

Esta técnica garante resistência, impermeabilidade, durabilidade, economia e rapidez de construção sendo, portanto, uma das técnicas mais utilizadas na contenção de arribas.



Fig. 4.23 – Pregagens e betão projetado em arribas na Ilha de S. Miguel, Açores.



Fig. 4.24 - Praia dos Três Castelos (Algarve). Proteção da arriba com betão projetado.



Fig. 4.25 – Técnica de betão projetado

4.2.10. MUROS DE SUPORTE EM BETÃO ARMADO NA BASE DA ARRIBA

Os muros de suporte são geralmente constituídos de elementos verticais, terraplenos e ainda elementos horizontais. São estruturas de suporte de terras nas quais o peso próprio desempenha um papel fundamental na respetiva estabilidade.

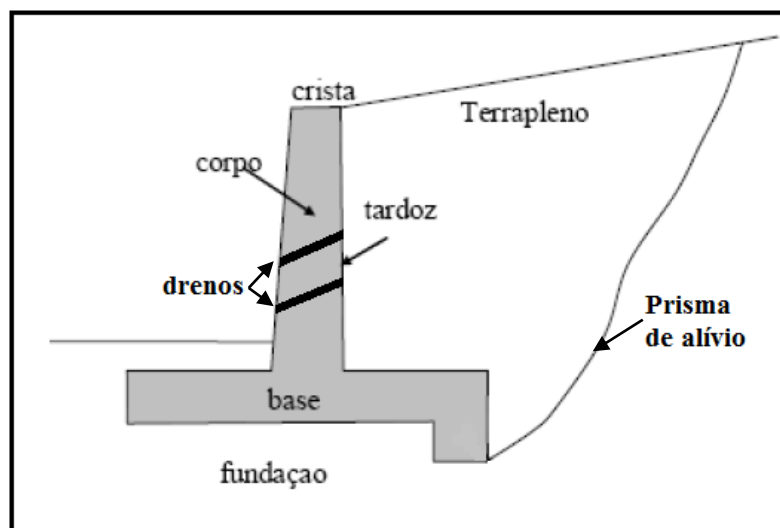


Fig. 4.26 – Esquema da constituição de um muro de suporte.



Fig. 4.27 – Proteção no pé da arriba de Porto Formoso, S. Miguel, Açores.



Fig. 4. 28 - Praia da Rocha (Algarve). Proteção da arriba com betão projetado e muro no pé do talude.

4.2.11. MUROS DE GABIÕES

Os muros de gabiões são constituídos por estruturas armadas, flexíveis, drenantes, de grande durabilidade e resistência, de forma prismática retangular, envolvidas em rede de malha hexagonal, constituída por arame galvanizado reforçado.

Esta técnica para além de ser bastante económica e de rápida execução pode ter um impacto ambiental aceitável. Os materiais usados são recicláveis e não poluentes, não deixando de constituir uma artificialização.

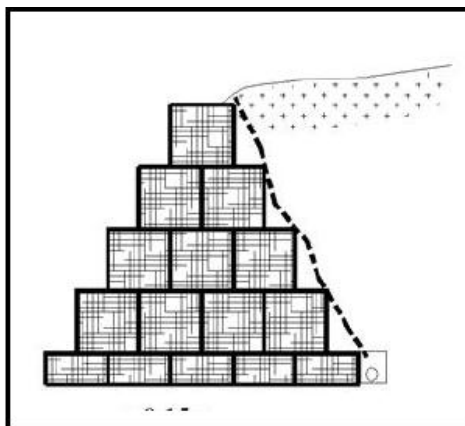


Fig. 4.29 – Representação esquemática de um muro de gabiões (Ancorim, 2012).

4.3. POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES

Na faixa costeira portuguesa a evolução das arribas litorais processa-se fundamentalmente através da ocorrência de movimentos de massa de vertentes com diferentes tipos de dimensão. Estes eventos de recuo ocorrem de modo não uniforme no tempo e no espaço e de formas distintas, caso se tratem de arribas talhadas em material resistente ou brando.

Os movimentos de massa de vertente constituem fontes geradoras de risco considerável para a ocupação existente na base (utentes das praias e infraestruturas de apoio) e no topo das arribas (edificações), resultando por vezes em acidentes com consequências graves para a vida humana.

As ações do mar sobre as arribas, a construção e alargamento de vias marginais com alinhamentos avançados, a incorreta localização de edificações e a drenagem de águas pluviais, constituem os principais fatores a considerar no ordenamento e na minimização de situações de risco já avançadas.

De forma a salvaguardar a segurança de pessoas e bens localizados nas áreas de risco tem sido efetuado um conjunto de intervenções específicas em determinados troços costeiros limitados por arribas, com objetivo de minimizar ou atenuar os fenómenos de instabilidade presentes.

Deverão proceder-se aos devidos ajustamentos técnicos das soluções propostas com vista à otimização dos processos de intervenção. Deve-se considerar as especificidades de cada local com o objetivo final de promover o uso sustentável, seguro, ambientalmente compatível, durável e economicamente mais favorável da orla costeira com arribas.

Em função do potencial e mecanismos de instabilidade identificados em cada caso particular e consequente diagnóstico da situação de risco, previamente efetuado no âmbito de projetos específicos e, ou, dos resultados de trabalhos de monitorização, devem ser avaliadas as respetivas soluções de

intervenção, devidamente ajustadas aos objetivos de proteção (grau de redução do risco) que pretendem atingir.

Sempre que técnica e financeiramente adequados, os objetivos e o grau de proteção que se pretendem atingir devem privilegiar as intervenções de maior aceitabilidade ambiental e menor impacto do ponto de vista paisagístico, garantidos os critérios de segurança e durabilidade previamente definidos.

As faixas de risco adjacente à base da arriba podem ser expressas em termos de largura fixa ou dependente da altura da arriba adjacente. Correspondem à largura da faixa de risco adjacente à base das arribas que podem ser atingidas por quedas de blocos e por detritos de outros movimentos de massa das vertentes, medidas a partir do sopé da arriba, incluindo depósitos de sopé preexistentes, na horizontal e em direção perpendicular ao contorno plano das arribas.

5

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1. CONCLUSÕES

As arribas costeiras apresentam morfologias particulares consoante o tipo de litologia que as caracteriza, a sua envolvente e ações erosivas externas. Para além de todos os processos erosivos naturais há que ter em conta as ações antropogénicas. A junção destes fatores propicia a modificação da sua geometria e da dinâmica local. As arribas costeiras podem constituir fontes de sedimentação para alimentação da dinâmica costeira e são elementos que valorizam as paisagens.

As diferentes tipologias, constituições e instabilidade de arribas evidenciam-se neste trabalho, comprovando a complexidade e diversidade das mesmas.

A expansão dos núcleos urbanos e turísticos, ocupando as proximidades das cristas das arribas, alterou o comportamento das mesmas acelerando a sua erosão. As atividades antrópicas existentes nessas áreas deverão ser caracterizadas como ações potenciais de instabilidade pois podem levar a deslizamentos ou desmoronamentos das arribas.

Por outro lado há que ter em conta a utilização das praias adjacentes a arribas. Os utentes destas áreas balneares, por questões de conforto, procuram muitas vezes zonas próximas das arribas ignorando a sinalização de perigo existente. Esta atitude irresponsável ou inconsciente põe em causa a sua segurança.

Realça-se o desrespeito da sinalização pelos utentes das zonas balneares e ainda o facto da vandalização desta mesma sinalética.

Pela observação de alguns casos concretos em Portugal pode-se constatar que existem muitas construções localizadas em áreas de risco e algumas encontram-se mesmo na eminência de colapso. Nos últimos decénios a erosão costeira foi acelerada devido a possíveis alterações climáticas e à ação humana. É de referir que o ordenamento do território é algo recente no nosso país o que permitiu que num passado recente se pudesse construir em zonas consideradas de risco.

É natural que ocorram alguns desabamentos das arribas costeiras. No entanto dada a progressiva ocupação e utilização de faixas adjacentes às cristas e às bases das arribas pelas populações tem que se ter em consideração a segurança das mesmas. Neste sentido, foram estudadas varias técnicas de proteção das arribas, desde soluções “soft” com menores impactos na natureza, a soluções mais “pesadas”, que embora tenham impactos mais negativos no ambiente envolvente, são necessárias para garantirem a segurança de vidas humanas.

Quando é necessário recorrer a técnicas de engenharia para solucionar problemas de estabilização em arribas é fundamental que a solução adotada mitigue o risco, o impacto na natureza e o custo associado.

Quando é necessário recorrer a técnicas de engenharia para solucionar problemas de estabilização em arribas é fundamental que a solução adotada mitigue o risco, o impacto na natureza e o custo associado.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No seguimento do que foi exposto, será interessante aprofundar o estudo geotécnico da estabilidade das arribas. A bibliografia encontrada é muito pouca. A maioria dos Planos de Ordenamento da Orla Costeira das ilhas dos Açores destaca este aspeto e recomenda a recolha de dados geotécnicos, praticamente inexistentes mas necessários, para o estudo da estabilidade e alternativas de solução.

Relativamente ao ordenamento do território deviam ser aperfeiçoadas as demarcações de faixas de risco ao longo da costa, impedindo a construção de infraestruturas pesadas.

BIBLIOGRAFIA

- Alveirinho Dias, J. (1988). *Aspectos Geológicos do Litoral Algarvio*, Geonovas, Lisboa.
- Amaral Borges, P. *Ambientes Litorais nos Grupos Central e Oriental do Arquipélago dos Açores*. Dissertação de Doutoramento. Universidade dos Açores, 2003.
- Ancorim (2012). *Riscos Costeiros: para melhor os conhecer e lhes fazer face*, Diputación de A Coruña and Ideara SL (Espanha).
- Ancorim (2012). *Panorama das soluções soft de protecção costeira*, BRGM e ONF (França).
- Araújo, M., *Geomorfologia Litoral*, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 2000.
- ARH Algarve I.P. (2009). *Parecer sobre risco associado às arribas do Algarve*.
- CCDR-LVT (2006), *Ocupação das Faixas de Risco e Áreas do Domínio Hídrico sob Jurisdição da CCDR-LVT na Área de Intervenção do POOC de Alcobaça-Mafra*
- Cruces, A., Lopes, I., Freitas, et al (2002) *A Geologia no Litoral Parte II: Da lagoa de Albufeira a Setúbal*. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Cruces, A., Lopes, I., Freitas, et al (2006). *A Geologia no Litoral Parte II: Da praia das Bicas a Setúbal*. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Falcão Neves, P. (2004), *O Ensaio de Durabilidade como Indicador Expedito da Estabilidade da Superfície Rochosa das Arribas Costeiras*, 9º Congresso de Geotecnia, Aveiro.
- Nunes da Costa, C., Sá Caetano, P., et al (2009.) *Estudo preliminar do risco associado à instabilidade de arribas no troço entre o Cabo Espichel e Setúbal*. Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Lameiras, G., Fontiela, J., et al (2009). *Coastal hazards of Fajã do Calhau (São Miguel-Azores): a first approach*. Journal of Coastal Research, SI 56 (Proceeding of the 10th International Coastal Symposium) 827-831. Lisbon, Portugal, ISSN 0749-0258.
- Marques, F., Freire de Andrade, C. (2009) *Parecer sobre risco associado às arribas do Algarve*. FCUL.
- Matos Fernandes, M. (2011), *Mecânica dos Solos, Introdução à Engenharia Geotécnica*, FEUP edições, Porto.
- Mateus, A. (Coord.) (2008) *Desastres Naturais: Minimizar os riscos, maximizar a consciencialização*. GeoFCUL. Acessível em <http://geologia.fc.ul.pt/documents/85.pdf>, consultado em 31/05/2011).
- Pinto, C., Vinhas, A. (2011), *Gestão de Riscos Costeiros em Litoral de Arriba: Planeamento e Medidas de Gestão Operacional*.
- Pinto, C. (2010). *Protecção do Litoral, da prevenção à intervenção*. Protecção Civil, um desafio permanente, ARH Tejo I.P., Torres Vedras.
- POOC São Miguel, Costa Sul
- Ribeiro, J. (2010). *Riscos Costeiros – Estratégias de prevenção, mitigação e protecção, no âmbito do planeamento de emergência e do ordenamento do território*. ANPC.
- Santos Ribeiro, J. (2010). *Nível Estratégico da REN – Litoral e Instabilidade das Vertentes*. ANPC
- Tavares da Silva, S. (2011). *Domínio Público, Instabilidade geológica e responsabilidade pelo risco*, CEJ/formação contínua, Faro.

Teixeira, S.B. (2009). *Demarcação do Leito da Margem das Águas do Mar no Litoral Sul do Algarve*. Administração da Região Hidrográfica do Algarve. Faro, 207p.

Teixeira, S.B. (2009), *Geodinâmica, Ocupação e Risco na Praia Maria Luísa*, ARH, Faro.

Veloso Gomes, F.(2011), *Apontamentos de Trabalhos Marítimos 1*, FEUP.

Veloso Gomes, F.(2011), *Apontamentos de Trabalhos Marítimos 2*, FEUP.

Veloso Gomes, F. (1995). *Fenómenos de Alteração e Deformação da Agitação na Propagação em Direcção à Costa, Interacção Agitação/ Taludes*, Laboratório de Hidráulica, FEUP.

Veloso Gomes, F., Barreto Caldas, F., et al (2011). *Manual de Intervenção no Litoral da Região Autónoma dos Açores. Fase 2:Boas Práticas e Áreas – Problema do Litoral da RAA*. IHRH/FEUP, Açores.

Veloso Gomes, F.; Caldas, F .B.; Santos, P. T.; Figueiredo, R. (2012) “*Manual de Intervenções no Litoral da Região Autónoma dos Açores*”. Ed. IHRH. 160 pgs.

<http://basaltonegro.blogspot.pt/2009/03/faja-do-calhau.html> (28/05/2012)

<http://cegeo.ist.utl.pt/html/investiga/artigo4.pdf> (24/02/2012)

http://portugalfotografiaaerea.blogspot.pt/2010_05_01_archive.html (31/05/2012)

<http://geoerosao.blogspot.pt/>(31/05/2012)

<http://geocrusoe.blogspot.pt/2008/10/deltas-lvicos-como-fajs.html> (03/06/2012)

<http://sesimbra.blogspot.pt/2008/12/cliقة-para-ampliar-porto-de-abrigo-e.html> (01/06/2012)

<http://oceanusatlanticus.blogspot.com/2009/07/queda-de-arribasfalesias-e-erosao.html> (11/03/2012)

<http://olhares.sapo.pt> (31/05/2012)

<http://pt.scribd.com/doc/22671327/Arribas-Visita-de-Estudo-RI-E-PDF> (11/03/2012)

http://vilanovadesantoandre.no.sapo.pt/sandre/p_salto.html (30/05/2012)

<http://www.aprh.pt/rgci/glossario/arriba.html> (17/02/2012)

http://www.arhalgarve.pt/site/parameters/arhalgarve/files/File/upload/R_H_Litoral/Derrocada_Sta_Eulia_2Out2009.pdf (27/02/2012)

<http://www.arhalgarve.pt/site/index.php?module=ContentExpress&func=display&ceid=119&meid=-1> (14/03/2012)

http://www.arhalgarve.pt/site/parameters/arhalgarve/files/File/upload/DRL/7_Vales_Suspensos/Paineis_A1_Arribas.pdf (30/04/2012)

<http://www.cascaisatlantico.org/Arribas-e-respectiva-faixa-de-protec%C3%A7%C3%A3o-terrestre.aspx?ID=2958> (31/05/2012)

http://www.dn.pt/inicio/portugal/interior.aspx?content_id=1367570&seccao=Sul (17/04/2012)

http://www.dn.pt/inicio/portugal/interior.aspx?content_id=1911015&seccao=Sul (17/04/2012)

<http://www.hmiranda.com.br/concreto-projetado-estacao-elevatoria.html> (11/03/2012)

http://www.inag.pt/inag2004/port/a_intervencao/obras/pdf/folhetoArribas.pdf (11/03/2012)

http://www.jn.pt/PaginaInicial/Sociedade/Interior.aspx?content_id=1952941 (17/04/2012)

<http://www.jornalavezinha.com/noticia.asp?idEdicao=189&id=8775&idSeccao=1671&Action=noticia> (17/04/2012)

<http://www.publico.pt/Local/cinco-vitimas-mortais-buscas-terminaram-na-praia-maria-luisa-1397138> (21/05/2012)

<http://www.travel-in-portugal.com/photos/img624.htm> (11/03/2012)

http://www.visitalgarve.pt/pressroom.file.php?fileID=25&file=guiadepraias_en.pdf (17/04/2012)

http://13dasorte.blogspot.pt/2009_08_01_archive.html (23/05/2012)

