

AVALIAÇÃO GEOTÉCNICA E CARTOGRAFIA APLICADA DE ESPORÕES NA REGIÃO DE ESPINHO (NW DE PORTUGAL)

Geotechnical assessment and applied mapping of groynes from the Espinho region (NW Portugal)

Ana Pires*

Helder I. Chaminé**

Fernando Santiago Miranda***

Alberto Gomes****

RESUMO – Este estudo apresenta uma proposta metodológica, no âmbito da geo-engenharia, para a avaliação geotécnica e cartografia de estruturas de protecção costeira (esporões) na região de Espinho (NW de Portugal). Foram seguidas as recomendações e a terminologia do manual do uso de rochas em engenharia costeira (CIRIA/CUR, 1991; CIRIA *et al.*, 2007) e a proposta de caracterização/avaliação geológico-geotécnica da ISRM (1978, 1981). Apresenta-se uma proposta de ficha geotécnica aplicada ao reconhecimento e inspecção visual dos blocos do material-rocha da estrutura e, com o recurso a imagens aéreas de alta resolução orto-rectificadas e georreferenciadas. De seguida, realizou-se uma cartografia aplicada de pormenor dos blocos rochosos que deu origem a mapas temáticos do esporão e, assim, permitiram uma avaliação segundo diferentes parâmetros geológico-geotécnicos. Apresentam-se, por fim, algumas sugestões que poderão contribuir para o planeamento de uma obra deste tipo, bem como para a caracterização do estado de conservação da estrutura e da sua evolução.

SYNOPSIS – This study presents a methodological proposal, in the geo-engineering perspective, for the geotechnical assessment and mapping of coastal protection structures (groins) from the Espinho area (NW Portugal). The recommendations and terminologies of the manual of the use of rock in coastal and shoreline engineering had been followed (CIRIA/CUR, 1991; CIRIA *et al.*, 2007) and also the proposal of geologic and geotechnical characterization/assessment by ISRM (1978, 1981). A geotechnical data sheet was created for the recognition and visual assessment of the rock material. Based on this data, as well as on geo-referenced high-resolution aerial images a detailed applied mapping of the rock mass blocks was built. This conducted to groin thematic maps which permitted to evaluate different geologic and geotechnical parameters. Finally, some suggestions are presented which may contribute for the planning and characterization of this kind of structures.

PALAVRAS CHAVE – Esporões, cartografia aplicada, geo-engenharia.

* Engenharia Geotécnica e Geoambiente (ISEP) / Pós-Graduada em SIG (UP) / Mestre em Minerais e Rochas Industriais, Especialidade Geotecnia (UA); Bolseira de doutoramento no Centro GeoBioTec (Grupo de Georrecursos, Geotecnia e Geomateriais) da Universidade de Aveiro e no Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (Labcarga|ISEP); E-mail: acpo@isep.ipp.pt

** Geólogo (FCUP) / Doutor em Geologia (UP) / Pós-Doutoramento em Geociências (UA); Professor Coordenador, Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto e Centro GeoBioTec (Grupo de Georrecursos, Geotecnia e Geomateriais) da Universidade de Aveiro; E-mail: hic@isep.ipp.pt

*** Engenheiro Civil (FEUP), Assessor Aposentado da Administração dos Portos do Douro e Leixões (APDL); Engenheiro Hidráulico Consultor

**** Geógrafo (FLUP) / Mestre em Ciências das Zonas Costeiras (UA) / Pós-Graduado em SIG (UP) / Doutor em Geomorfologia (UP); Professor Auxiliar, Departamento de Geografia da Universidade do Porto e Centro CEGOT (Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território)

1 – INTRODUÇÃO

A protecção do litoral face ao processo de erosão costeira é um problema complexo, envolvendo o conhecimento de uma multiplicidade de parâmetros. Estes serão relativos, entre outros, à agitação marítima, à geomorfologia da costa a proteger, à geometria do perfil da praia e da costa, bem como à natureza dos materiais que constituem a superfície e o substrato (Gomes, 1977; Soares de Carvalho, 1985). Um dos modos mais generalizados de protecção costeira é através da construção de esporões (*e.g.*, Gomes, 1977; Mota Oliveira e Martins, 1991; Veloso-Gomes e Papadatos, 1995; Silva, 1996; Santos *et al.*, 2003), assim classificados na designação de obras transversais de defesa costeira, conjugados ou não com obras longitudinais aderentes e, em certos casos, com alimentação artificial (Veloso-Gomes e Papadatos, 1995). Os esporões são estruturas, geralmente perpendiculares à costa, cuja função é reter a circulação litoral de sedimentos, de modo a restabelecer ou, pelo menos, estabilizar uma praia que se encontra em recuo, chamando-a a participar na natural dissipação da energia das ondas (Gomes, 1977). Normalmente, os esporões são construídos em grupos sendo denominados por campo de esporões. Na generalidade, os estudos costeiros foram desenvolvidos pela necessidade de melhorar a acessibilidade portuária e para responder a situações de emergência provocadas pelo ataque do mar ao património urbano construído. A crescente sensibilidade às questões ambientais e aos riscos dos seus desequilíbrios irreversíveis, aliada à crescente valorização económica dos espaços litorais, ampliou de modo explosivo, nos últimos dois decénios, o leque dos interesses, possibilitando uma abordagem multidisciplinar dos complexos problemas costeiros.

Para o dimensionamento de uma obra marítima não são apenas importantes os fundamentos de hidráulica marítima, mas também os da geologia e geomorfologia costeiras e de geo-engenharia dos materiais rochosos (*e.g.*, LCPC, 1989; CIRIA/CUR, 1991; CFCFF, 1996; USACE, 2002a; Veloso-Gomes *et al.*, 2002; CIRIA *et al.*, 2007). A finalidade, na perspectiva da geo-engenharia, da cartografia e da inspecção sistemática da estrutura de defesa costeira constará na definição da tipologia e da caracterização dos blocos constituintes da estrutura (normalmente, blocos de material-rocha natural e/ou blocos de betão), de modo a apoiar a construção de um dado esporão desde a exploração do material rochoso (pedreira) até à sua colocação em obra (Pires e Chaminé, 2007, 2008a,b). Esse acompanhamento geológico-geotécnico desde a sua origem é extremamente importante dado que poderá influenciar o comportamento, em termos de vida útil de um esporão (Pires, 2007). A partir de uma monitorização sistemática e de uma avaliação das estruturas, tendo em conta uma boa caracterização da matéria-prima no local de extracção, avançar-se-á para uma constante evolução no âmbito da engenharia costeira, consciencializando, assim, os técnicos para a importância da conjugação de diferentes áreas do conhecimento no dimensionamento das obras de protecção da costa portuguesa. Nos últimos anos tem-se verificado um grande interesse no estudo e gestão das zonas costeiras recorrendo-se à integração de ferramentas ligadas aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), à Fotogrametria e Detecção Remota (*e.g.*, Veloso-Gomes e Papadatos, 1995; Marçal *et al.*, 2004; Gonçalves e Piqueiro, 2004; Pires *et al.*, 2006a,b, 2007). Estas ferramentas permitem realizar análises quantitativas, delinear modelos de desenvolvimento e apoiar a decisão relativa à gestão de recursos e ao ordenamento costeiro. Permitem, ainda, a sobreposição de informação temática variada proveniente de mapas topográficos, mapas geológicos, fotografias aéreas e imagens de satélite, podendo, por exemplo, ser detectadas modificações na linha de costa ao longo do tempo.

A presente investigação pretende contribuir para o estudo das estruturas marítimas da área de Espinho (esporão de Paramos), numa perspectiva multidisciplinar, com enfoque para uma abordagem no âmbito da geo-engenharia, recorrendo a tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e técnicas cartográficas. Será dado destaque à caracterização geológico-geotécnica e geomecânica dos blocos de material-rocha constituintes do esporão de Paramos. Tal estudo permitiu melho-

rar o conhecimento do estado de conservação da estrutura e a avaliação do estado do material constituinte da mesma. Deste modo, procedeu-se ao ensaio duma cartografia aplicada de obras marítimas e à realização duma caracterização geológico-geotécnica dos blocos, permitindo, assim, prever intervenções a curto/longo prazo na estrutura, em termos de obras de reparação e manutenção. Esta abordagem contribuiu, também, para o aperfeiçoamento do dimensionamento de uma obra deste tipo e o acompanhamento da mesma, desde a extracção da matéria-prima rochosa até à colocação da pedra natural na estrutura.

2 – O ESPORÃO DE PARAMOS, ESPINHO

2.1 – Situação de referência: a origem geológica da matéria-prima

A maioria dos blocos rochosos que se encontram na estrutura marítima de Paramos (Espinho), provêm dos seguintes locais, a saber:

- Pedreira da Malaposta, situada no lugar do mesmo nome, na freguesia de S. Jorge, concelho de Santa Maria da Feira, distrito de Aveiro. Trata-se de uma pedreira que se encontra licenciada, desde 1976, à empresa Irmãos Cavaco, SA (ICSA) e cuja exploração se tem vindo a intensificar desde então. O material-rocha da pedreira é um granitóide gnáissico de boa qualidade geotécnica para a produção de britas e enrocamento;
- Pedreira do Moinho, localizada na freguesia de Canidelo, concelho de Gaia, distrito do Porto. É, actualmente, uma antiga exploração a céu aberto que iniciou a sua actividade em 1971 através da empresa SOLUSEL – Sociedade Lusitana de Obras e Empreitadas, Lda. O material rochoso extraído da pedreira é um granito biotítico que foi utilizado na construção civil e obras públicas.

Na Figura 1 é apresentada a base de dados, em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) criada com a georreferenciação dos locais de extracção de pedra, assim como as hiperligações para as fotografias e cartas militares das mesmas.

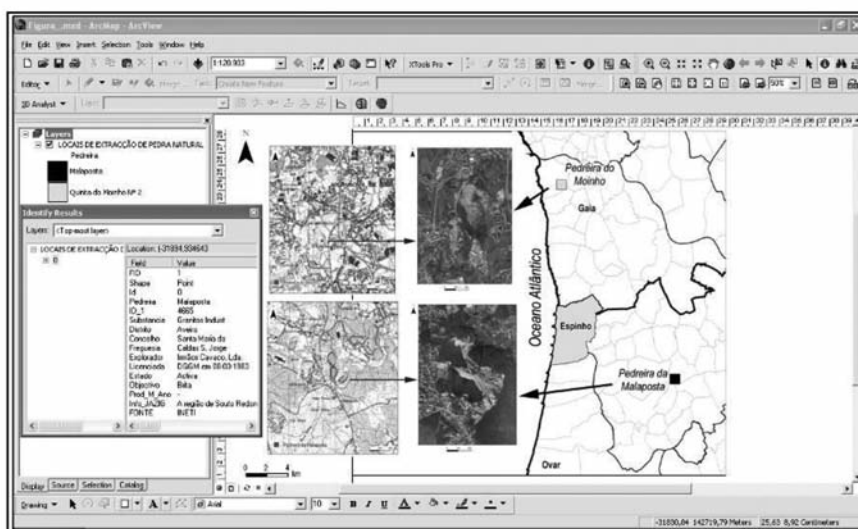


Fig. 1 – Base SIG com a inventariação das pedreiras e seu enquadramento geográfico: informações gerais associadas aos pontos (bases cartográficas: Carta Militar de Portugal, escala 1/25000, Folhas 143 e 144 e Google Earth Pro, consulta em Fevereiro de 2007).

Os traços gerais da geologia regional, onde se enquadram as pedreiras (Figura 2), reportam-se a uma complexa faixa de cisalhamento regional, com orientação média NNW–SSE, que se prolonga desde o Porto (Foz do Douro) até Tomar sendo designada por faixa de cisalhamento de Porto – Coimbra – Tomar (Dias e Ribeiro, 1993; Ribeiro *et al.*, 2007). Localmente, enquadra-se no segmento geotectónico de Espinho – Albergaria-a-Velha–Águeda (Chaminé, 2000; Gomes, 2008). Esta faixa é constituída por uma série de unidades tectonoestratigráficas do Proterozóico médio-superior ao Paleozóico superior (Chaminé, 2000; Chaminé *et al.*, 2003), fazendo parte do Maciço Ibérico, sendo tradicionalmente inserida na Zona de Ossa-Morena.

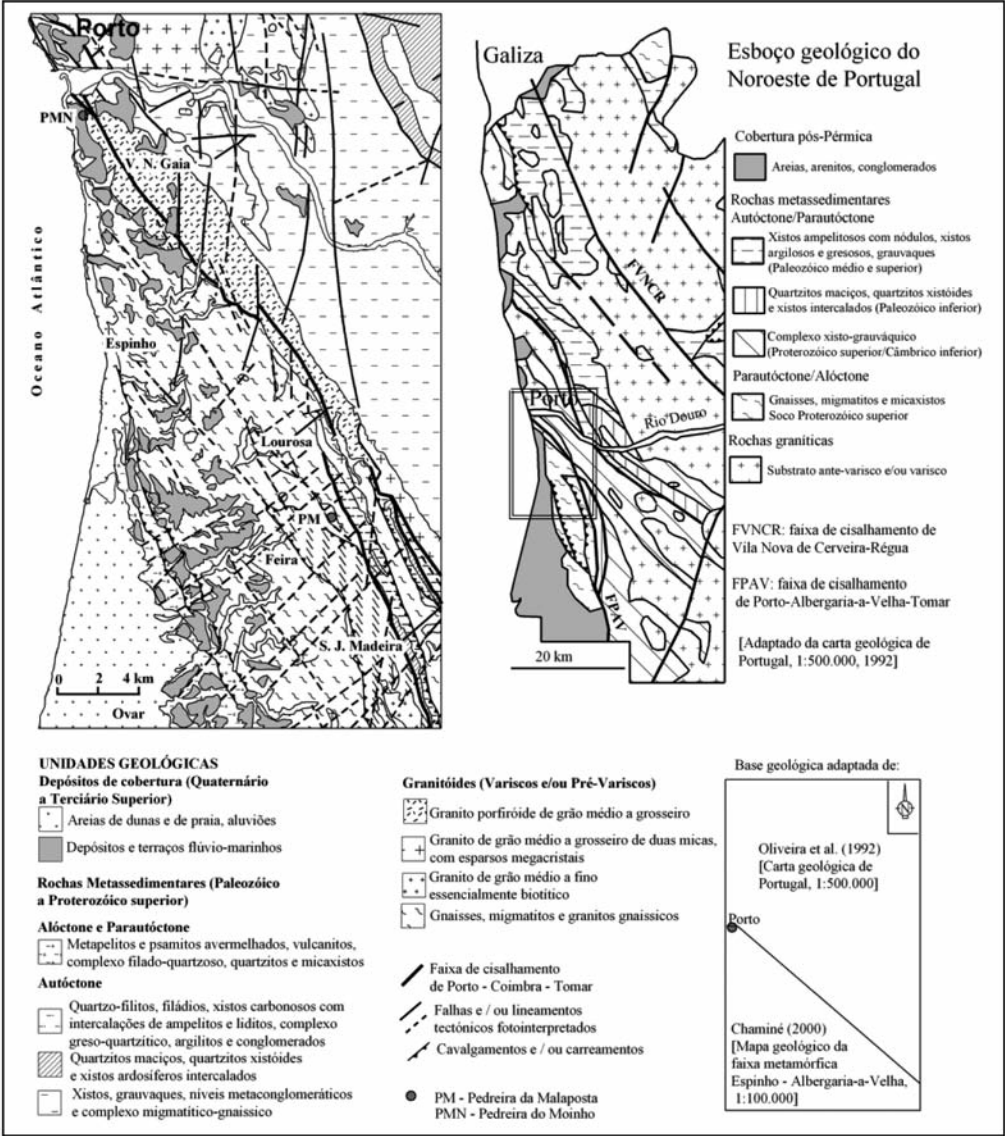


Fig. 2 – Enquadramento geológico-estrutural regional das explorações do material-rocha utilizado no revestimento do Esporão de Paramos [PM: Pedreira da Malaposta (S. João de Ver); PMN: Pedreira do Moinho (Canidelo, Gaia)]. Base geológica da faixa metamórfica de Espinho – Albergaria-a-Velha, adaptada de Chaminé (2000).

A área de Souto Redondo (Lourosa) – onde se localiza a Pedreira da Malaposta – inclui-se na unidade tectonoestratigráfica de Lourosa. Esta unidade é constituída por rochas metamórficas de alto grau, designadamente, migmatitos, ortognaisses, micaxistos e anfibolitos. Na Pedreira da Malaposta é possível diferenciar no terreno os seguintes litótipos, a saber (*e.g.*, Freire de Andrade, 1938/40; Chaminé *et al.*, 1996, 2001a; Chaminé, 2000): i) granitóides gnáissicos moscovíticos de grão médio a fino; ii) ortognaisses (*s.l.*); iii) bandas de milonitos e/ou ultramilonitos; iv) micaxistos, paragnaisses e migmatitos. Os encraves, de natureza metassedimentar, são escassos, mas observam-se micaxistos granatíferos de escala métrica.

O maciço rochoso da Pedreira da Malaposta (Figura 3) encontra-se intensamente fracturado, sendo a fracturação traduzida por um apertado e intenso diaclasamento dos distintos litótipos, destacando-se uma família de diaclases com orientação NNW-SSE (e, em regra, subvertical). Muitas das falhas observadas, com direcção NW-SE, resultam da reactivação destas discontinuidades, gerando, por vezes, intenso esmagamento e argilitização, principalmente nos litótipos granitóides de grão médio a fino. O gnaiss biotítico da Pedreira da Malaposta apresenta uma cor azulada e/ou branca-amarelada e uma granularidade média a grosseira. A caracterização geomecânica do maciço da Malaposta pode ser avaliada com base nos seguintes parâmetros, a saber (Pizarro *et al.*, 2005): i) a densidade média do material gnáissico é 2,64; ii) o módulo de Young 63,4 GPa; iii) a resistência à compressão de 211,7 MPa.

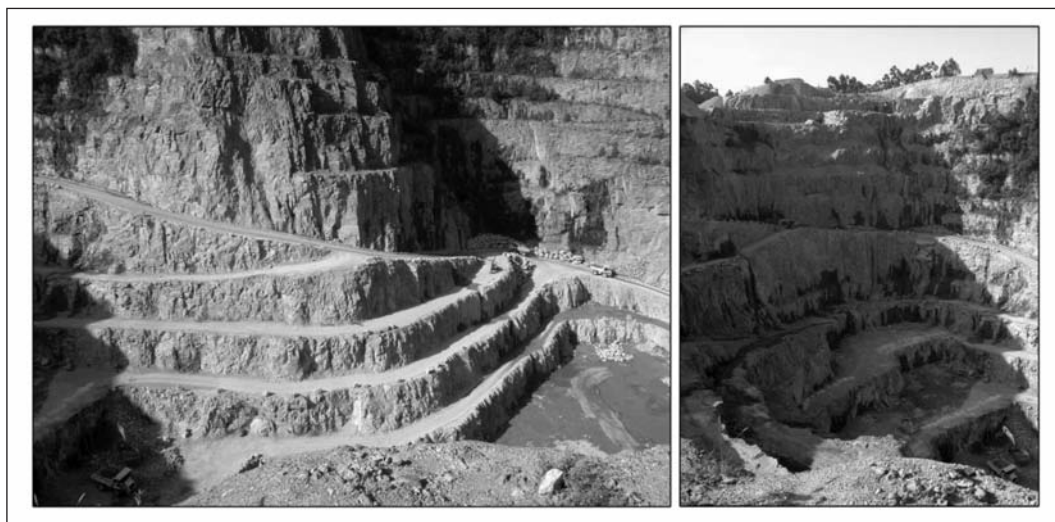


Fig. 3 – Vista panorâmica da Pedreira da Malaposta (Irmãos Cavaco, S.A.), fotografias tiradas em Setembro de 2005.

O maciço rochoso da pedreira do Moinho enquadra-se na fácies do Maninho (Vinha da Silva e Neiva, 1999) do denominado granito de Lavadores (Canilho, 1975) sendo considerado um granito biotítico, porfiróide, de grão fino a médio. Apresenta uma textura porfiróide constituída por megacristais de feldspato róseo, em regra euédrico, de cor azulada ou rósea. O maciço granítico de Lavadores, com orientação NW-SE, encontra-se espacialmente associado ao megacisalhamento de Porto – Espinho – Albergaria-a-Velha (Chaminé, 2000).

2.2 – Objectivos e enquadramento

O presente estudo apresenta uma metodologia desenvolvida para a monitorização sistemática de uma obra de protecção costeira (esporões) característica da região de Espinho. Trata-se de uma

abordagem baseada na inspecção e no reconhecimento visual do material rochoso da estrutura, tendo como principais referências, as duas versões do “*manual of the use of rock in coastal and shoreline engineering*” (CIRIA/CUR, 1991; CIRIA *et al.*, 2007) e o “*coastal engineering manual*” (USACE, 2002a,b). Para o efeito, foram criados, a partir de uma fotografia aérea georreferenciada numa base cartográfica digital (CME, 1993), vários mapas temáticos da estrutura de protecção costeira em termos, sobretudo, de litologia (destrinça dos tipos de material-rocha), de resistência (à compressão uniaxial) e do grau de deterioração. A cartografia dos distintos blocos de material-rocha constituiu o suporte para a definição de um zonamento dos materiais da estrutura, numa perspectiva geotécnica. No estudo das obras de protecção costeira da região de Espinho foram realizadas inspecções visuais sistemáticas em vários esporões, sendo o caso de estudo ora apresentado do denominado esporão de Paramos. Houve, igualmente, a preocupação de caracterizar *in situ* os materiais rochosos e os materiais de betão utilizados no revestimento das estruturas de protecção costeira. Assim, executou-se, por um lado, uma caracterização geológico-geotécnica de pormenor nas pedreiras que forneceram os materiais rochosos. Por outro lado, procedeu-se a uma análise apurada da documentação técnico-científica cedida pelas empresas supracitadas e contida em publicações científicas sobre o assunto (*e.g.*, Chaminé *et al.*, 1996, 2001a; Chaminé, 2000; Pizarro *et al.*, 2005). Uma versão preliminar desta metodologia, cujas investigações continuam em curso (*e.g.*, Pires *et al.*, 2006a, 2009; Pires e Chaminé, 2007, 2008a), encontra-se descrita nos trabalhos de investigação de Pires (2005, 2007).

O concelho de Espinho está situado na orla Atlântica, aproximadamente 50 km a norte de Aveiro e 20 km a sul do Porto. Com uma área de 21,42 km², tem como limites administrativos, a Norte o município de Vila Nova de Gaia, a Sul o concelho de Ovar, a Este o concelho da Feira e a Oeste o Oceano Atlântico. A costa de Espinho é protegida por um campo de cinco esporões e duas obras aderentes (Mota-Oliveira e Martins, 1991; Veloso-Gomes *et al.*, 2002). O Quadro 1 apresenta uma síntese das principais características do campo de esporões da região de Espinho. A Figura 4 representa a obra de protecção costeira em estudo – esporão de Paramos – e a área envolvente.

Quadro 1 – Síntese das características do campo de esporões da região de Espinho
(compilado de SOMAGUE, 1980; Veloso-Gomes *et al.*, 2002; Pires, 2007).

Designação	Tipo de estrutura	Localização	Ano de construção	Comprimento (m)	Esporões	
					Estudados	Presente estudo
Obra 1/1	Esporão	Espinho	1918 / 1981/83	350	X	–
Obra 2/2	Esporão	Espinho	1981 / 83	400	X	–
–	Obra aderente	Espinho	–	400	X	–
Obra 3/3	Esporão	Espinho	1981 / 83	300	X	–
Obra 4/4	Esporão	Paramos	1981 / 83	280	–	–
–	Obra aderente	Paramos	–	100	–	–
-/5	Esporão	Paramos	1985	280	X	X

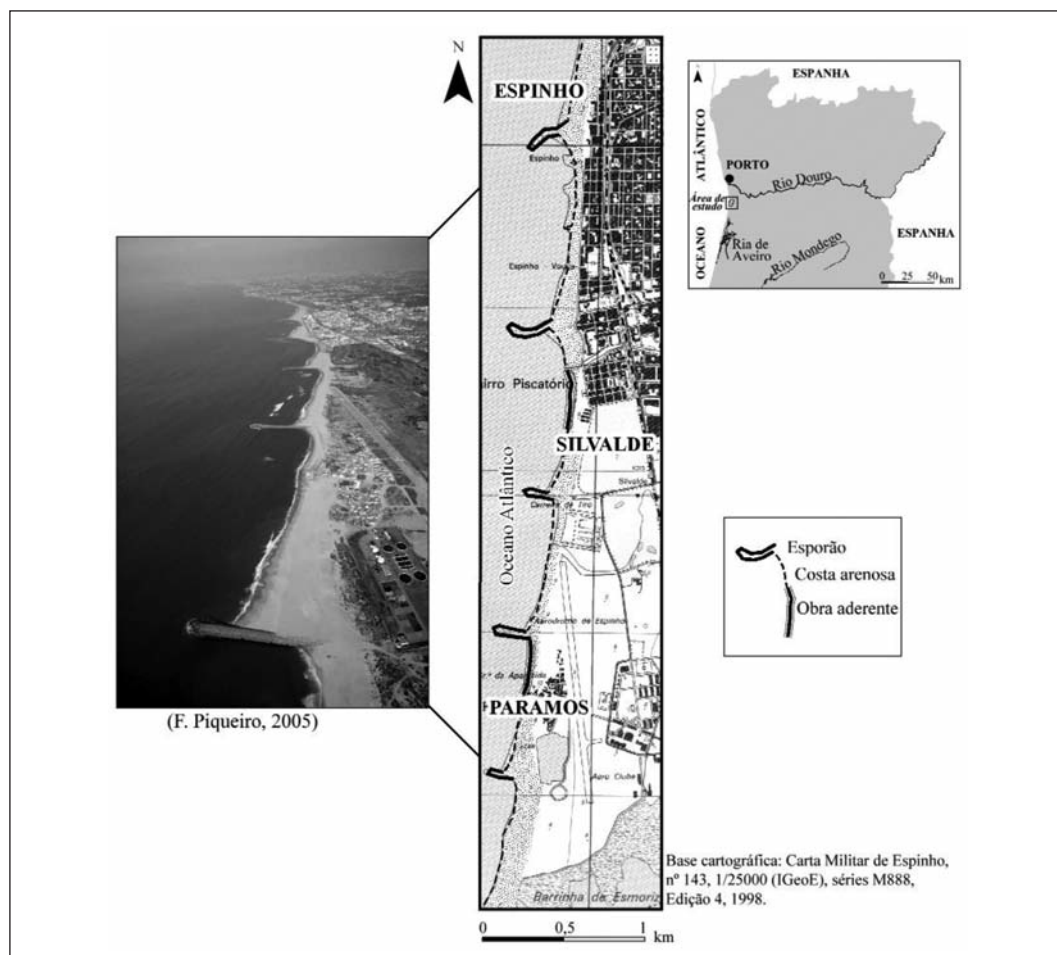


Fig. 4 – Enquadramento do esporão de Paramos na faixa costeira de Espinho (imagens aéreas cedidas gentilmente pelo Prof. Francisco Piqueiro, Fevereiro de 2005).

3 – MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – O manual da CIRIA/CUR (1991) e CIRIA *et al.* (2007)

O “*manual of the use of rock in coastal and shoreline engineering*” (CIRIA/CUR, 1991; CIRIA *et al.*, 2007) é um guia prático sobre os procedimentos técnico-científicos a seguir na aplicação do material-rocha em obras de engenharia costeira. Este manual assenta numa abordagem aos processos de planeamento e de dimensionamento, sendo, para isso, considerados uma série de procedimentos e parâmetros geológico-geotécnicos, ambientais e económicos aplicados à engenharia costeira (*e.g.*, disponibilidade e durabilidade dos materiais; implicações ambientais; métodos de construção; estratégias futuras de procedimentos e factores económicos). Este manual pretende constituir um guia para a caracterização, o acompanhamento e o dimensionamento de uma estrutura marítima desde a origem da matéria-prima rochosa até à sua colocação em obra.

Em termos de conteúdo, o manual (na versão de 1991) encontra-se estruturado conforme é explicitado na Figura 5, em que se apresenta um diagrama lógico, demonstrando a interrelação entre os capítulos do manual, os principais processos e sub-processos. A nova versão do manual

(CIRIA *et al.*, 2007) incorpora, entre outras, novas informações baseadas na norma EN 13383 para rochas, os resultados actuais de ensaios na área da hidráulica e novos desenvolvimentos sobre a tipologia dos materiais e aspectos construtivos. Abrange, igualmente, aspectos que não se encontram ligados à engenharia costeira, tais como os materiais reciclados e as unidades de blocos de betão. Aborda, também, aspectos económicos, análise de riscos e novas exigências ambientais.

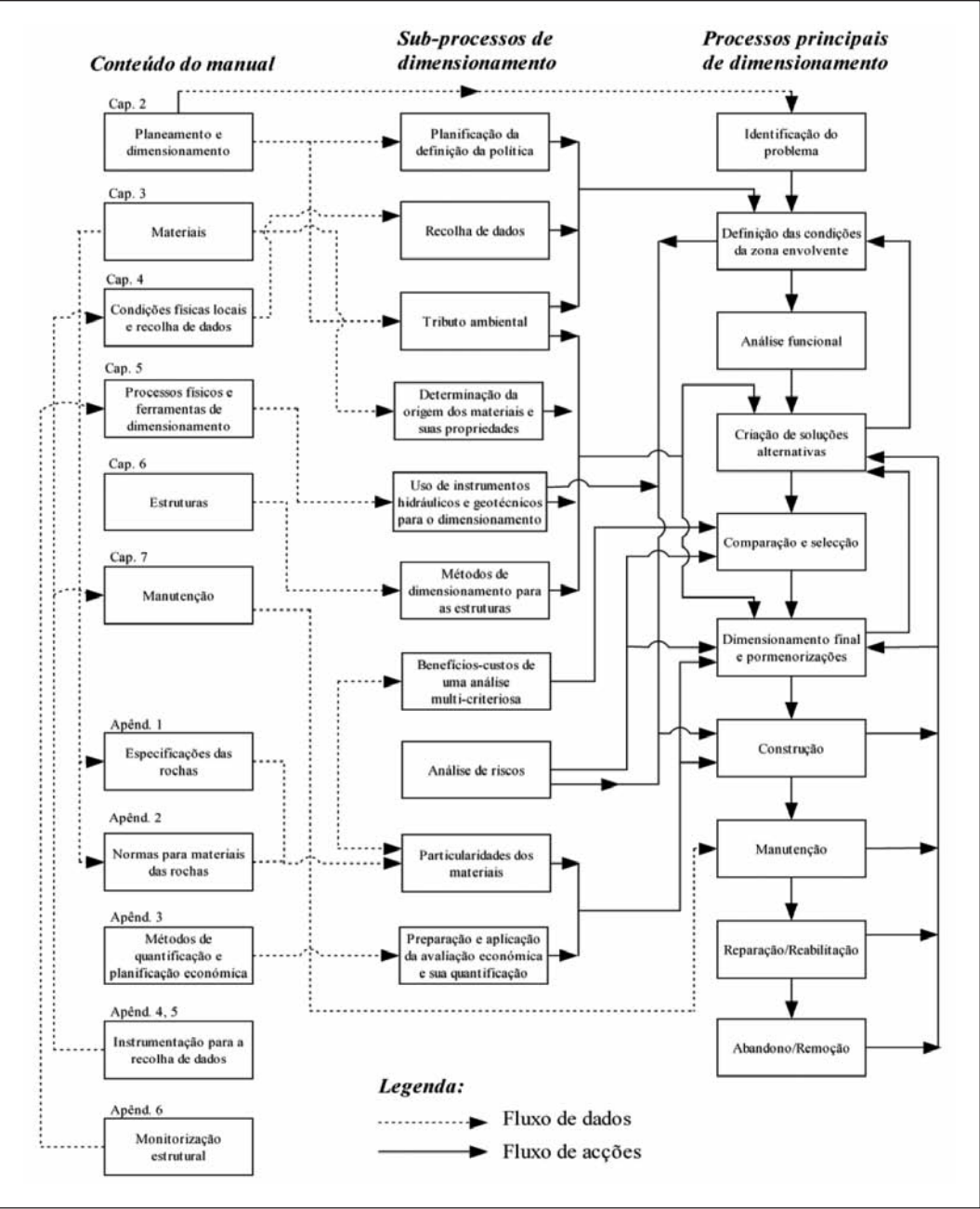


Fig. 5 – Diagrama lógico do “manual of the use of rock in coastal and shoreline engineering” (CIRIA/CUR, 1991).

3.2 – Imagens aéreas de alta resolução

A aquisição de imagens aéreas de alta resolução foi efectuada para o presente estudo recorrendo-se, para o efeito, a um helicóptero. No decurso do voo a baixa altitude a aquisição das imagens foi realizada por um operador com uma máquina fotográfica. A câmara digital foi fixada manualmente pelo operador não havendo uma ligação rígida ao helicóptero (pormenores em Gonçalves e Piqueiro, 2004). O voo realizado sobre o esporão de Paramos efectuou-se no dia 4 de Fevereiro de 2005, entre as 13:28 e 13:31 (GMT), cuja maré apresentava cerca de 2 metros de altura (IH, Fevereiro 2005). Procedeu-se a uma montagem dos fotogramas orto-rectificados obtendo-se, assim, uma imagem global do esporão que serviu de base a este estudo. Alguns resultados do voo realizado sobre o esporão de Paramos estão patentes na Figura 6.



Fig. 6 – Imagens áreas oblíquas do esporão de Paramos (imagens aéreas cedidas gentilmente pelo Prof. Francisco Piqueiro, Fevereiro de 2005).

3.3 – A técnica de amostragem linear

Outra metodologia empregue foi a designada técnica de amostragem linear usada em geologia aplicada/geotecnia de maciços rochosos (*e.g.*, Lamas, 1989; Dinis da Gama, 1995; Chaminé e Gaspar, 1995; Chaminé *et al.*, 2001b; Martins *et al.*, 2006). Esta técnica está também contemplada no manual da CIRIA/CUR (1991) e CIRIA *et al.* (2007), mas numa perspectiva de caracterização geológico-geomecânica dos blocos naturais no seu local de extracção. A técnica de amostragem linear foi aplicada na própria estrutura de protecção costeira, servindo como um apoio cartográfico para referenciar os blocos intersectados pela linha de amostragem. A técnica de amostragem linear consiste, genericamente, na colocação de uma fita graduada em superfícies expostas do maciço e no registo de parâmetros geológico-geotécnicos de todas as descontinuidades intersectadas pela fita. Neste estudo, a técnica de amostragem linear foi aplicada na própria estrutura de protecção

costeira, servindo como um apoio cartográfico para referenciar os blocos intersectados pela linha de amostragem. Na Figura 7 está exemplificada a aplicação desta técnica ao esporão de Paramos, na qual se procedeu a uma avaliação dos materiais ao longo de perfis longitudinais. Numa fase subsequente foi realizado um perfil transversal na cabeça do esporão, com o mesmo método.

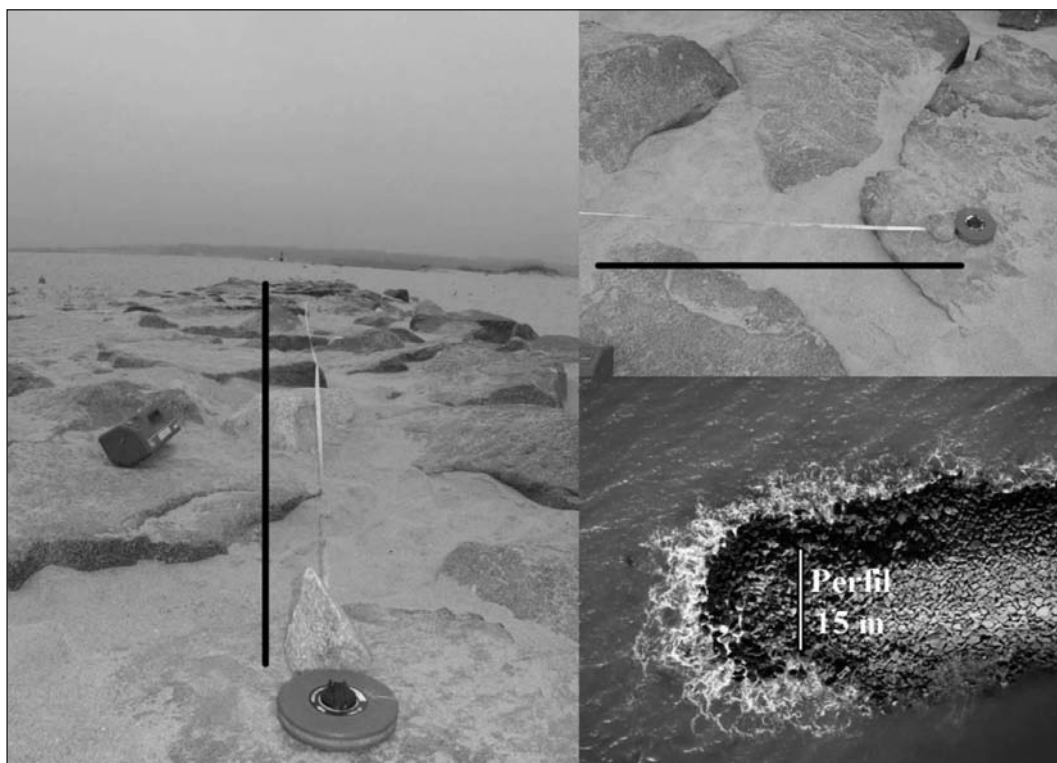


Fig. 7 – Aplicação da técnica de amostragem linear: i) no passadiço do esporão de Paramos (Espinho);
ii) num perfil transversal na área da cabeça do esporão.

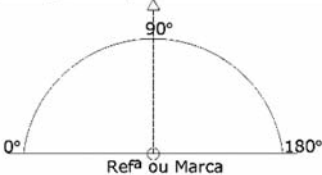
3.4 – A resistência do material-rocha

Para avaliar a resistência dos geomateriais recorreu-se ao esclerómetro portátil (*martelo de Schmidt*) da marca PROCEQ, tipos L e N, consoante se tratava de blocos de rocha ou de betão, respectivamente. Em função da dureza (ou seja, da resistência à compressão do material-rocha) registada nos ensaios e da densidade média do material rochoso, procedeu-se à determinação e classificação da resistência à compressão segundo a proposta da ISRM (1978, 1981).

3.5 – Inspeção visual e cartografia aplicada

A técnica de inspeção visual pela simples observação directa e sistemática, permite detectar modificações na estrutura, nomeadamente fracturas/fissuras nos blocos rochosos, mudanças de posição ou de orientação relativa dos blocos, e deteriorações do material dos blocos. Para tal, foi realizada uma inspeção visual a partir do coroamento do esporão e na parte superior dos blocos do manto resistente. O equipamento necessário para a recolha de informação e cartografia foi a

Finalmente, a ficha de campo desenvolvida e apresentada na Figura 9 resulta de uma abordagem geotécnica com o intuito de contribuir para uma correcta avaliação do estado da estrutura marítima, aplicada apenas ao esporão de Paramos.

Registo Fotográfico:		Referência das Fotos:	
Inspeção Visual nº		Descrição: Cabeça dos Esporões	
Foto nº:	Data:	Identificação do Esporão:	
Localização da câmara:		Hora:	
Direcção da fotografia:			
			
<div style="text-align: center;">Notas Visuais ou Esquema:</div>			
<div style="text-align: center;">Observações:</div>			

Avaliação da Cabeça do Esporão			
ANÁLISE DA ESTRUTURA			
QUEDAS	FRACTURAS	MOVIMENTOS	
Muitas	Muitas	Assentamento	
Algumas	Algumas		
Poucas	Poucas	Deslizamento	
Nenhumas	Nenhumas		
DEGRADAÇÃO SUPERFICIAL DO MATERIAL:		Muito corroído	
		Alguma corrosão	
		Bom mas c/ muitos poros superficiais	
		Em bom estado	
AVALIAÇÃO GEOLÓGICA – GEOTÉCNICA DO MATERIAL			
(Características Visuais)			
Cor		Cor	
Grau de Alteração		Grau de Alteração	
Textura/Estrutura		Textura/Estrutura	
Descrição da Rocha		Descrição da Rocha	
Identif. da Rocha		Identif. da Rocha	
Observações		Observações	
Cor		Cor	
Grau de Alteração		Grau de Alteração	
Textura/Estrutura		Textura/Estrutura	
Descrição da Rocha		Descrição da Rocha	
Identif. da Rocha		Identif. da Rocha	
Observações		Observações	
OPINIÃO GLOBAL			
ESTRUTURA		Em ruína	
		Muito Degradada	
		Degradada	
		Pouco degradada	
		Em bom estado	

Fig. 8 – Ficha de campo para a cabeça do esporão: uma proposta.

Identificação do Esporão: Paramos		Caracterização Geológica – Manto Resistente (avaliação geral)		
Descrição da rocha	Granito biotítico	Granito biotítico	Gnaise	Betão + agregados
Identificação da(s) rocha(s) (marca, nº, etc)	1	2	3	4
Cor	Azul-acinzentado	Avermelhado-rosado	Amarelo-esbranquiçado	Cinza esbranquiçado
Grau de Alteração	W ₁ a W ₃	W ₁ a W ₃	W ₁ a W ₃₋₄	
Textura/Estrutura	Grão médio	Médio a fino	Médio-Grosso	
Observações	Granito de Lavadores	Granito de Lavadores	Gnaise de Lourosa (bandado gnaissico)	Blocos, caixotões ou material do passadiço

Direcção da "scanline": N 93° E		Data: 11-05-2005	Hora: 9h – 13h
Esquema da "scanline"			
	Dureza de Schmidt – Valores de Ressonância (Rebound – R)		
Perfil nº	1		Troço (m) 0 – 15
Estação nº	1	Resultados	
Distância à origem (m)	0,2	50 62	
Identificação da rocha	2	62 61	
Grau de Alteração	W ₁	67 67	
		61 58	
		64,5 52,5	

Fig. 9 – Ficha de levantamento geológico-geotécnico para o esporão em estudo: uma proposta.

3.6 – Análise estatística

Com o objectivo de analisar eventuais diferenças entre os tipos de blocos constituintes da camada mais superficial do manto resistente da estrutura, foi efectuada uma análise estatística dos dados obtidos através da utilização do esclerómetro portátil. Os valores obtidos para os blocos medidos (n=116) são apresentados sob a forma de frequência relativa na estrutura, a mediana e média, bem como o erro padrão da média para a dureza de cada tipo de bloco encontrado. A análise de variância a um critério de classificação (Davis, 1986) foi utilizada para detectar eventuais diferenças de dureza média entre os tipos de blocos constituintes da estrutura estudada. O teste de comparações múltiplas de Bonferroni foi utilizado para identificar a origem das diferenças encontradas através da análise de variância. Antes da aplicação da análise de variância verificaram-se os pressupostos de normalidade das distribuições, utilizando o teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov, e de homogeneidade de variâncias, utilizando o teste de Levene. Esta estrutura apresenta um número muito baixo de blocos artificiais, apenas tendo sido ensaiado um destes blocos na amostra aleatória obtida. Por esta razão este tipo de bloco foi excluído da análise de variância efectuada para estudar a dureza média. Em todos os testes estatísticos realizados o nível de significância escolhido foi de 0,05. Todos os testes estatísticos foram realizados com o programa estatístico SPSS (versão 16.0) para MS Windows.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Constituição de um esporão

A Figura 10 apresenta o perfil da obra correspondente ao esporão das Obras 3 e 4 do Ante-Projecto da Empreitada de Execução das Obras de Defesa e de Reconstrução das Praias de Espinho entre 1981 e 1983 (SOMAGUE, 1980). Devido às características ou parâmetros hidráulicos tidos em conta no dimensionamento, nomeadamente as correntes litorais, a agitação marítima e o vento, que eram particularmente fortes e quase permanentes no Verão, a solução projectada e adoptada para estas obras foi a solução de esporões de enrocamento cujo perfil é em tudo semelhante ao esporão em estudo (Paramos).

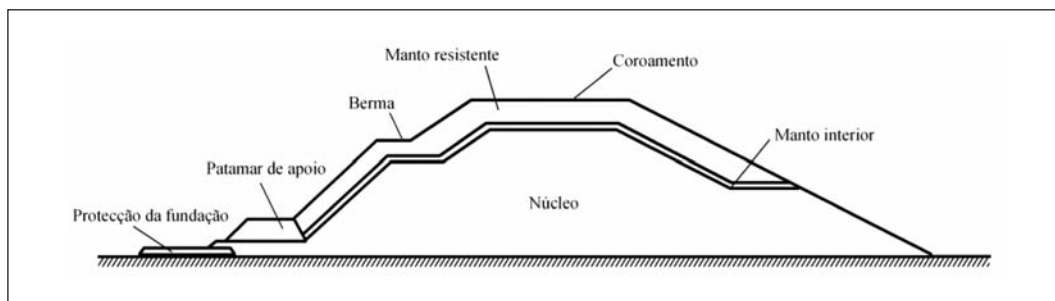


Fig. 10 – Perfil típico das Obras 3 e 4: solução de enrocamento
(adaptado de SOMAGUE, 1980 e CIRIA *et al.*, 2007).

Quanto às principais partes constituintes de um esporão, estas podem ser divididas em 4 zonas (Figura 11): i) Cabeça; ii) Coroamento; iii) Risberma; iv) Tardoz.

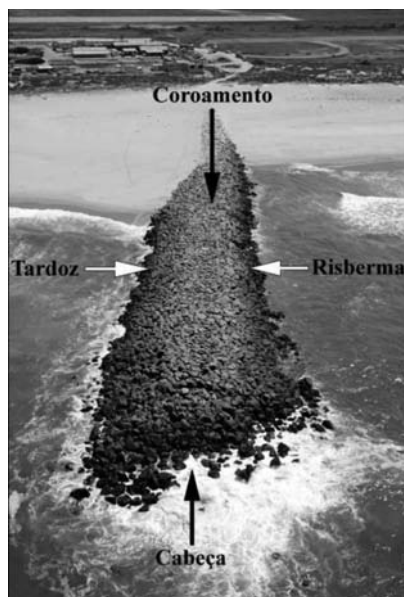


Fig. 11 – Partes constituintes de um esporão (fotografia do esporão de Paranhos realizada, em Fevereiro de 2007, pelo Prof. Francisco Piqueiro).

4.2 – Cartografia aplicada

Neste trabalho, a monitorização ou inspecção realizada ao esporão de Paramos propõe diferentes abordagens com especificidades que estão ligadas à aplicação geológico-geotécnica e estabelece princípios integradores num domínio recente denominado por geo-engenharia (*e.g.*, Bock, 2006). Seguidamente, tenta enfatizar-se a importância deste tipo de monitorização que envolve três tipos de actuações nas estruturas marítimas, a saber:

- Exploração da matéria-prima: pré-selecção do material;
- Acompanhamento da obra: monitorização;
- Monitorização pós-obra: inspecções sistemáticas.

Ao longo do estudo destaca-se a importância destas três fases no dimensionamento da estrutura, desde a escolha e selecção do material (avaliação da qualidade geológica-geotécnica no seu local de extracção) até à sua colocação em obra. A inspecção do estado dos materiais constituintes da estrutura, tem como objectivo, propor um zonamento do manto resistente da obra de modo a avaliar, em termos qualitativos e se possível quantitativos, o estado de degradação da estrutura. Os principais objectivos passaram, essencialmente, por caracterizar e avaliar alguns parâmetros da estrutura marítima, nomeadamente: o tipo de material cartografado; as características geológicas e geomecânicas; a avaliação do estado actual da estrutura; a realização de cartografia de pormenor da zona mais superficial do esporão. O esquema da Figura 12 representa os factores a ter em consideração durante a fase de planeamento de obra, apontando o interesse entre uma ligação interactiva e lógica entre processos, antes mesmo da fase de dimensionamento.

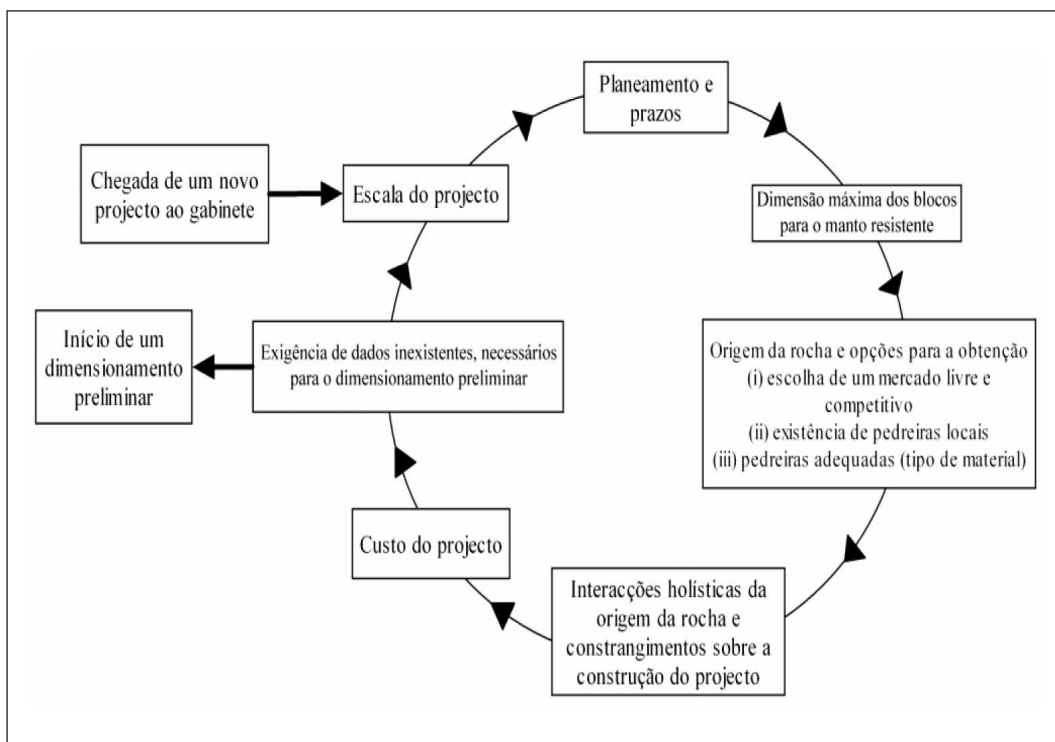


Fig. 12 – Diagrama de fluxo sobre o material a ter em conta antes da fase de concepção de uma obra marítima (CIRIA *et al.*, 2007).

A metodologia desenvolvida e aplicada, tal como se referiu anteriormente, na estrutura de protecção costeira de Paramos (Espinho) baseou-se, por um lado, na criação de uma ficha geotécnica aplicada ao reconhecimento e inspecção visual do material-rocha da estrutura e, por outro lado, no recurso a imagens adquiridas a partir de helicóptero com uma câmara digital, as quais sofreram, posteriormente, rectificação e georreferenciação, permitindo uma cartografia de pormenor dos blocos rochosos constituintes da estrutura de protecção costeira. Assim, através da fotografia aérea georreferenciada e de uma forma expedita, foram criados mapas temáticos gerais e de pormenor da estrutura de protecção, com o objectivo de cartografar a estrutura em termos de blocos constituintes, criando e apresentando diferentes avaliações de alguns parâmetros geológico-geotécnicos do material-rocha dos blocos, tais como: tipo(s) de litologia(s), características geológico-geotécnicas (cor, grau de alteração, grau de fissuração, etc.) e características geomecânicas (resistência à compressão uniaxial através de ensaios esclerométricos). Nos levantamentos de pormenor recorreu-se à técnica de amostragem linear, a partir de perfis referenciados, o que permitiu de uma forma sistemática a recolha dos dados e o registo numa ficha de campo desenvolvida para o efeito. Para essa avaliação dos blocos era necessário recorrer a algumas classificações (semi) quantitativas de modo a avaliar convenientemente os parâmetros geológico-geotécnicos. Para a classificação do grau de alteração das rochas naturais recorreu-se à avaliação propostas pela ISRM (1978, 1981) e pela GSE (1995).

Toda a cartografia realizada foi complementada com reconhecimentos ao longo da estrutura, para se recolher de forma sistemática todos os dados considerados relevantes. E como numa inspecção deste tipo é muito importante a recolha de dados, foram preenchidas as fichas de campo que permitirão uma avaliação recorrendo-se a parâmetros geológico-geotécnicos. Para além da realização da cartografia de pormenor, também foram realizadas inspecções à zona da cabeça do esporão e uma avaliação global à estrutura, onde se pretendia analisar e registar o estado actual da estrutura.

4.3 – Aplicação ao esporão de Paramos

O esporão do Paramos, no período de estudo entre 2005 e 2007, constituía uma estrutura pouco degradada e com evidência de algumas quedas e ruína do material na zona da cabeça que, de facto, é uma área de grande susceptibilidade à deterioração, e poder-se-á dizer que é um esporão com um estado de conservação médio (*Nível 2*; Santos *et al.*, 2003). Após a identificação dos materiais constituintes através da fotografia aérea e complementada por reconhecimentos de campo, verificou-se que o material que se encontra em maior número é o granito azul, mas também apresenta alguns granitos rosa e gnaisses em grande quantidade e colocados aparentemente de forma aleatória ao longo do seu manto resistente (Quadro 2). Este esporão apresenta alguma heterogeneidade e aleatoriedade na colocação dos materiais constituintes. A Figura 13 corresponde à cartografia das litologias dos blocos naturais e dos materiais de betão constituintes do esporão de Paramos. Para a execução deste mapa de base procedeu-se à cartografia de campo exaustiva, de mais de 4900 blocos de material-rocha e de 4 blocos de betão, apoiada pela imagem aérea de alta resolução realizada propositadamente para este estudo. Para a execução deste mapa procedeu-se, numa primeira fase, à vectorização de todos os blocos que compõem a estrutura, com base na imagem aérea de alta resolução, orto-rectificada efectuada para o efeito e, numa fase subsequente, elaboraram-se minutas de terreno para se refinar a cartografia *in situ*, recorrendo à terminologia e procedimentos geológico-geotécnicos da ISRM (1978, 1981, 2007), da GSE (1995), da CFCEFF (1996) e da cartografia geológica aplicada à engenharia (Zuquette e Gandolfi, 2004).

Quadro 2 – Síntese das características dos blocos de rocha e de betão identificados no Esporão de Paramos (parâmetros geológico-geotécnicos, segundo a ISRM, 1978, 1981 e a GSE, 1995; base litológica e geológica das fácies graníticas, segundo Chaminé, 2000 e Chaminé *et al.*, 2001a).

BLOCOS DE ROCHA				BLOCOS DE BETÃO
Cor	Azul-acinzentado	Rosa-avermelhado	Amarelo-esbranquiçado	Cinza esbranquiçado
Grau de Alteração	W ₁₋₂	W ₁	W ₂ / W ₃	–
Textura/estrutura	Grão médio	Grão médio a fino	Grão médio a grosseiro; bandado gnáissico	–
Descrição da rocha/material	<i>Granito biotítico</i>	<i>Granito biotítico</i>	<i>Gnaisse</i>	<i>Betão + agregados</i>
Identificação da rocha	1	2	3	4
Fácies granítica	Granito de Lavadores	Granito de Lavadores	Gnaisse de Lourosa	–
Observações	–	–	–	Tampa de betão (mistura de agregados com quartzo + granito)

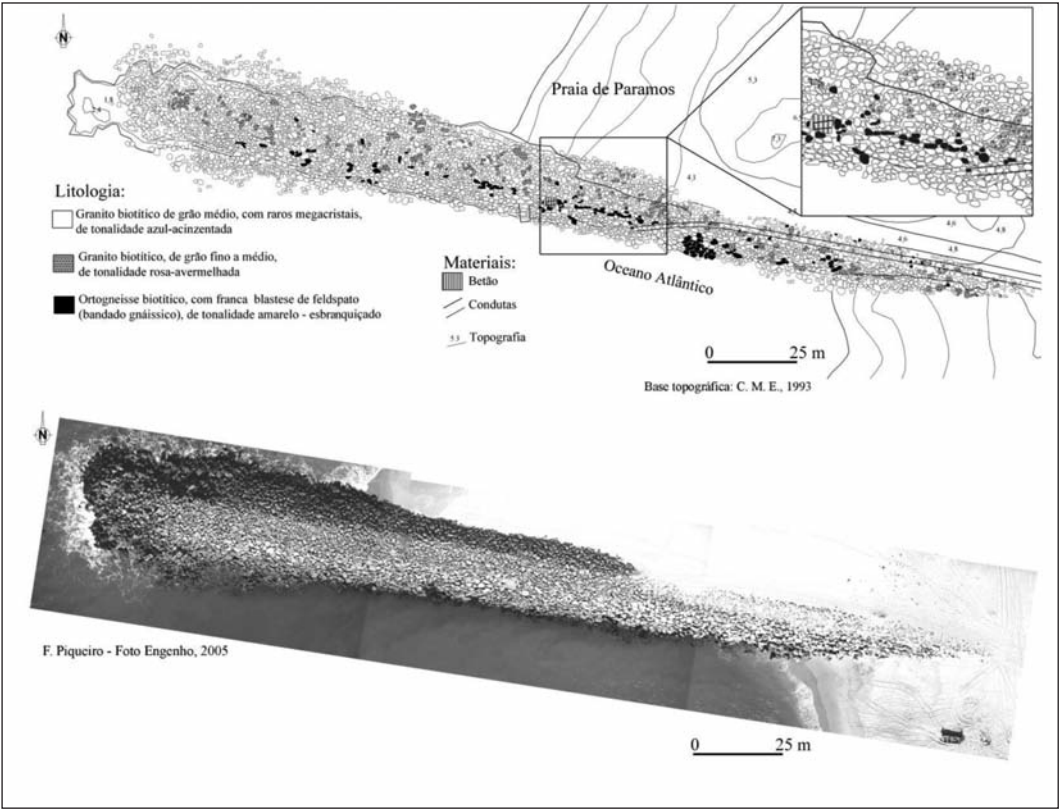


Fig. 13 – Mapa de litologias dos blocos naturais e materiais constituintes do esporão de Paramos.

4.4 – Proposta para o zonamento da estrutura

Quanto à caracterização geomecânica realizada no material-rocha da estrutura de protecção costeira foram efectuadas 116 estações geomecânicas ao longo de 16 perfis de amostragem linear (com uma extensão de 15m cada um), nos quais se efectuaram ensaios esclerométricos no material-rocha e se registaram numa ficha de campo vários parâmetros geológicos (litologia, tonalidade, textura/estrutura) e geotécnicos (grau de alteração, resistência). Foram reconhecidos diferentes tipos de blocos aplicados: rocha natural (granitos e gnaisses) e material artificial (betão ou mistura, i.e., betão + agregados). Este reconhecimento superficial dos blocos constituintes da estrutura revela a importância que os materiais aplicados neste tipo de obras de engenharia apresentam, para a longevidade e sucesso das mesmas. A cartografia aplicada proporcionou uma avaliação do estado actual da estrutura, assim como do próprio material de revestimento. Através dos valores de ressalto obtidos com o martelo de Schmidt, foi estimada a resistência à compressão uniaxial dos blocos ao longo do manto resistente da estrutura, de acordo com a classificação geológico-geotécnica da ISRM (1981).

O Quadro 3 sintetiza as características geotécnicas ao longo dos blocos do manto resistente e do grau de deterioração em termos de estado actual do esporão. Foram definidas três zonas distintas ao longo do manto resistente, i.e., zonas I, II/III e IV com graus de deterioração muito baixo, elevado/médio e baixo, respectivamente (Quadro 3).

Quadro 3 – Síntese dos dados geomecânicos para o zonamento da estrutura. Valores obtidos para 116 estações geomecânicas segundo os perfis de amostragem linear. (1: granito azul-acinzentado; 2: granito rosa-avermelhado; 3: gnaiss; 4: betão + agregados).

Designação / Zonas do Esporão	Litologia / Grau de Alteração (ISRM, 1981)	Identificação da rocha	Número estações geomecânicas (n)	Ressalto/ <i>Rebound</i> (R)	Resistência à Compressão Uniaxial (MPa) [ISRM, 1981]	Estado actual (Grau de deterioração)
Coroamento (ZI)	Predominância do granito rosa-avermelhado; W ₁	2	39	54 - 57	175 – 225 [S ₁]	Muito baixo
Tardoz (ZIV)	Granito azul-acinzentado e gnaiss; W ₃ a W ₂	3	25	46 - 48	120 – 135 [S ₂]	Baixo
Risberma + Cabeça (ZIII / ZII)	Predominância do granito azul-acinzentado; W ₁₋₂	1	51	49 - 51	140 – 150 [S ₂]	Médio/Elevado

Verificou-se que para a camada mais superficial desta estrutura os blocos mais frequentes são os granitos azul-acinzentados (44%) e os granitos rosa-avermelhados (34%) (Figura 14 e Quadro 4). Os blocos artificiais (betão+agregados) foram encontrados ocasionalmente (1%) ao longo do manto resistente. A análise de variância efectuada aos dados obtidos através do esclerómetro revelou a existência de diferenças estatisticamente significativas entre a dureza dos diferentes tipos de blocos ($F_{(2,112)} = 7,0$; $p = 0,001$). Os blocos de granito rosa-avermelhados parecem apresentar uma dureza superior ($54,5 + 0,88$) aos de granito azul-acinzentados ($50,3 + 0,95$; $p = 0,023$) e dos gnaisses ($47,9 + 2,08$; $p = 0,002$).

Quadro 4 – Quadro 4 – Síntese dos dados estatísticos.

Identificação da rocha	n	Mediana Ressalto/Rebound (R)	Média ± EPM
1	51	50,2	47,9 + 2,08 ^b
2	39	56,0	54,5 + 0,88 ^a
3	25	51,6	50,3 + 0,95 ^b

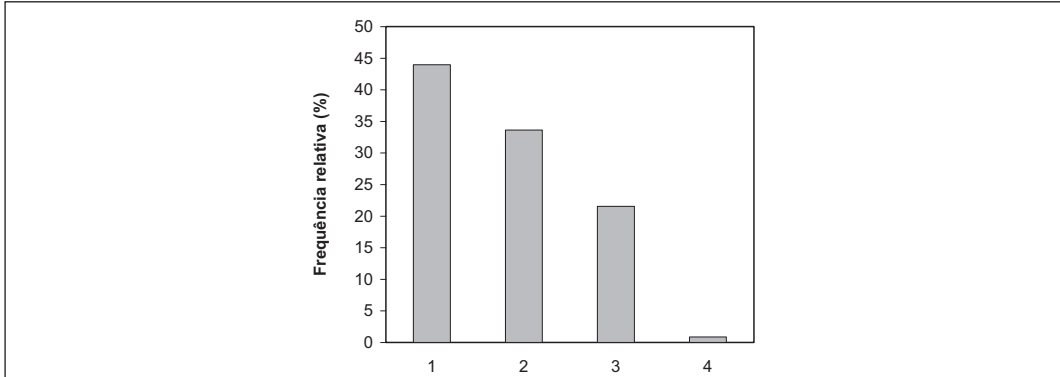


Fig. 14 – Frequência relativa dos blocos constituintes do manto resistente da estrutura (1: granito azul-acinzentado; 2: granito rosa-avermelhado; 3: gnaisse; 4: betão + agregados) e dados estatísticos relativo aos valores de ressaltos. As letras diferentes (a,b) identificam diferenças estatisticamente significativas; EPM – Erro padrão da média.

Na Figura 15, distinguem-se três zonas que representam a mediana dos valores de ressaltos (R) obtidos com base nos referidos ensaios esclerométricos. Verificou-se que os valores registados se encontram em conformidade com as litologias e materiais cartografados, demonstrando que para o caso apresentado, a zona do coroamento com predominância de granito rosa-avermelhado apresenta valores mais elevados como já foi referido anteriormente. A Figura 16 representa uma avaliação do estado actual da estrutura em termos de deterioração da zona mais superficial do manto resistente e revela que a zona com predominância de granito azul-acinzentado (cabeça) é uma zona de grande susceptibilidade e com um grau de deterioração elevado, sendo, por isso uma das zonas que deveria estar sujeita a reparações. O cruzamento de todos os parâmetros geotécnicos e geomecânicos obtidos ao longo da inspecção visual realizada, particularmente, os dados petrofísicos, grau de alteração e resistência à compressão uniaxial, permitiram a definição de uma proposta para o zonamento do manto resistente do esporão de Paramos. A Zona I (ZI), correspondente ao coroamento do esporão, apresentou valores de resistência mais elevados (entre 175 e 225 MPa) relativamente às restantes zonas; esta zona é predominantemente constituída pelo granito rosa-avermelhado, com grão médio a fino. As Zonas II (ZII, cabeça) e III (ZIII, risberma), apresentaram as mesmas características geotécnicas, nomeadamente a predominância de granito azul-acinzentado, com grão médio e essencialmente biotítico, com valores de resistência entre 140 e 150 MPa. Finalmente a Zona IV (ZIV), correspondente ao tardo, exibiu valores de resistência mais baixos (no intervalo 120 a 135 MPa); trata-se de uma zona constituída por gnaisses amarelo-esbranquiçados, de grão médio a grosseiro, com megacristais de feldspato e granito azul-acinzentado. Esta metodologia permitiu o zonamento do revestimento rochoso da estrutura de protecção costeira de Paramos, caracterizando-a em termos do seu grau de deterioração. Os resultados alcançados permitem concluir que, por vezes, as zonas de maior solicitação (cabeça e risberma), apresentam menores valores de resistência nos

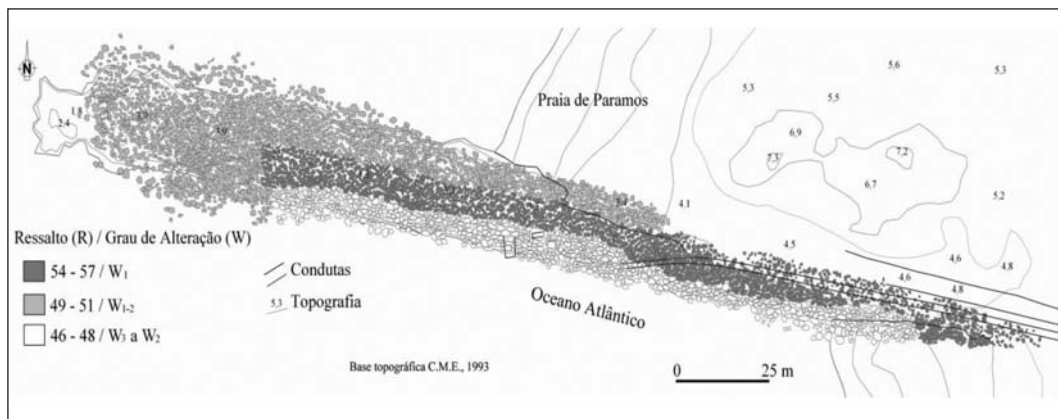


Fig. 15 – Mapa com os valores de Ressonância (R) com base nos ensaios esclerométricos e grau de alteração (W) para o esporão de Paramos.

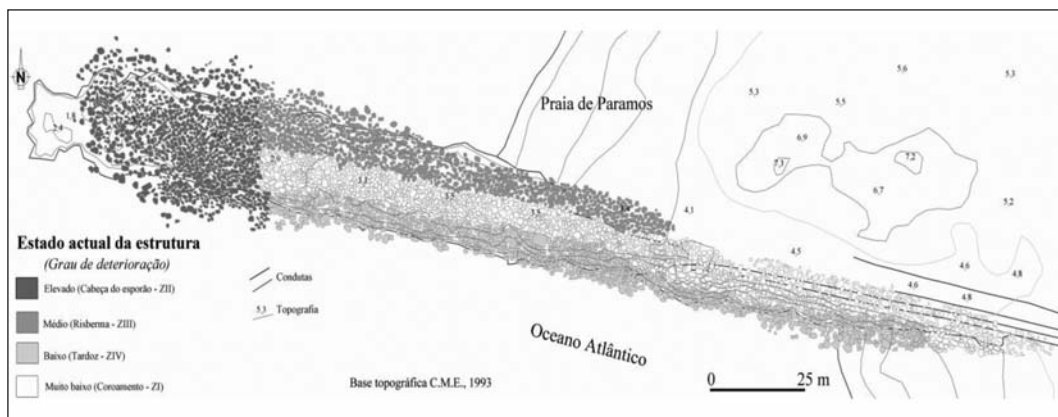


Fig. 16 – Zonamento para o manto resistente: uma proposta de síntese com a avaliação do estado actual da estrutura e grau de deterioração (esporão de Paramos).

materiais rochosos, comparativamente com as zonas de baixo grau de deterioração (coroamento e tardoz). Além disso, os resultados obtidos na análise aos valores de ressonância dos diferentes tipos de blocos sugerem que o granito rosa-avermelhado será o material-rocha mais resistente. Este aspecto poderá ser relevante, quer em termos construtivos quer de dimensionamento de novas estruturas deste género. Efectivamente, considerando que a cabeça do esporão é uma das zonas mais susceptíveis à acção do mar e com maior grau de deterioração, este granito poderá constituir a escolha mais adequada para aplicação futura nesta zona dos esporões.

Estes resultados conduzem a novas perspectivas a ter em conta para a manutenção de estruturas de protecção costeira. Este estudo mais específico foi baseado na inspecção e avaliação do esporão de Paramos pós-obra, através de uma análise integrada que permite aferir o seu estado estrutural. No entanto, é importante enfatizar a importância no acompanhamento da obra desde a selecção do material e avaliação da sua qualidade geotécnica no seu local de extracção até à sua colocação em obra. Determinar a disponibilidade do material-rocha (para enrocamento) e realizar

estudos geológico-geotécnicos pormenorizados dos blocos, são etapas importantes ao longo do dimensionamento de uma dada obra de protecção costeira que deverão ser executadas em fases preliminares de um determinado projecto (CIRIA/CUR, 1991; CIRIA *et al.*, 2007). Assim, esta abordagem permitirá seleccionar zonas que estarão sujeitas (a curto ou médio prazo) a reforços ou reparações na estrutura, conduzindo estas obras de reabilitação a menores custos económicos.

5 – CONCLUSÕES

A aplicação da metodologia esboçada anteriormente permitiu avaliar o estado de conservação da estrutura hidráulica, especialmente dos seus materiais de revestimento. Através do reconhecimento visual de terreno e da execução de geo-cartografia SIG temática – apoiada numa base fotográfica de alta resolução, orto-rectificada e georreferenciada – foi possível tecer algumas considerações, não só em termos de caracterização geotécnica dos materiais pétreos e outros, mas também sobre o grau de deterioração da estrutura. Deste modo, este estudo propõe um zonamento dos geomateriais ao longo da estrutura marítima em termos de deterioração, sendo definidas zonas de distinta qualidade geotécnica dos blocos. Através desta abordagem integradora foi criada e proposta uma ficha de avaliação geotécnica aplicada à inspecção e monitorização de obras de protecção costeira. A perspectiva apresentada ao longo deste estudo teve como objectivo o enquadramento de um projecto de engenharia costeira, quer ao nível dos estudos de concepção e dimensionamento, quer ao nível de estudos de reparação e/ou conservação de uma super-estrutura de protecção com as características das existentes na região de Espinho. Esta abordagem exploratória, actualmente em desenvolvimento através do projecto GISCOAST (Pires *et al.*, 2009), demonstrou ser uma mais valia a ter em conta no que diz respeito ao projecto das estruturas de protecção costeira e da influência das alterações climáticas nos geomateriais utilizados nas obras de protecção costeira (Dupray e Simm, 2008). No entanto, o presente estudo enfatiza a importância e a necessidade de se realizarem estudos geológico-geotécnicos rigorosos da matéria-prima rochosa, no seu local de origem (pedreira) para uma maior eficácia na colocação e revestimento da estrutura de protecção costeira (Pires e Chaminé, 2008a,b).

A monitorização das zonas costeiras é, em geral, imprescindível, dada a sua dinâmica natural e as consequências das intervenções humanas mais ou menos sistemáticas. Por isso, a inspecção visual, a realização de cartografia de pormenor e a avaliação geológico-geotécnica dos geomateriais poderão assumir um papel relevante, visto possibilitarem a avaliação do estado actual da estrutura e, consequentemente, o estado dos seus blocos constituintes. Em síntese, uma abordagem interdisciplinar em geo-engenharia aplicada às estruturas de protecção costeira, desde a origem da matéria-prima rochosa até à sua colocação em obra, constituirá, por certo, uma mais valia em projectos de engenharia costeira.

6 – AGRADECIMENTOS

O presente estudo baseia-se, em parte, na fase embrionária de investigação enquadrada na tese de licenciatura de A. Pires. São devidos agradecimentos à direcção da empresa Irmãos Cavacos, SA, em particular ao Eng. Araújo Lopes, por todas as informações técnicas partilhadas. Ao Eng. A. Mota Freitas (SOMAGUE) pela cedência de importantes dados sobre as obras marítimas de Espinho. Ao Prof. F. Piqueiro (FEUP) pela aquisição da fotografia aérea que possibilitou inequivocamente a realização deste trabalho. Ao Dr. A. Santos, Eng. A. Fortunato e Eng. A. Covas, do LNEC, pelas preciosas indicações bibliográficas numa fase preliminar do estudo. Foram, igualmente, determi-

nantes as trocas de impressões e apoios dos colegas E. Brògueira Dias (APDL), F. Rocha (UA), S. Dupray (CETMEF, França), P. Freire (LNEC), A. Pérez-Alberti (USC, Espanha), R. Teixeira (CCDR-N) e J. Simm (HR Wallingford, Reino Unido). A. Pires recebeu apoio da FCT através da bolsa de doutoramento SFRH/BD/43175/2008. Um agradecimento especial aos revisores anónimos pela leitura crítica do manuscrito.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bock, H. (2006). *Common ground in engineering geology, soil mechanics and rock mechanics: past, present and future*. Bull. Eng. Geol. Env., 65: 209-216.
- C.M.E. – Câmara Municipal de Espinho (1993). Base cartográfica digital da Câmara Municipal de Espinho.
- Canilho, M. H. (1975). *Contribuição para o conhecimento do granito de Lavadores*. Boletim Sociedade Geológica Portugal. 19, 3: 173-193.
- CFCFF – Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (1996). *Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications*. National Research Council, National Academy Press, 568 p.
- Chaminé, H. I. (2000). *Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena): implicações geodinâmicas*. Universidade do Porto, 497 p. (Tese de Doutoramento).
- Chaminé, H. I.; Gaspar, A. F. (1995). *Estudo da compartimentação de maciços rochosos pela técnica de amostragem linear: Aplicação a uma travessa da Mina de Carvão de Germunde*. Estudos, Notas & Trabalhos Inst. Geol. Min., Porto, 37: 97-111.
- Chaminé, H. I.; Almeida, A.; Moreira, M. E.; Lemos de Sousa, M. J.; Fonseca, P. E. (2001a). *Caracterização geoquímica preliminar de rochas ortoderivadas da faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena, NW de Portugal): implicações geotectónicas*. In: M. Lago, E. Arranz & C. Galé (eds.), *Proceedings III Congreso Ibérico de Geoquímica*, Instituto Tecnológico de Aragón, Zaragoza. pp. 331-336.
- Chaminé, H. I.; Dias, A. G.; Dinis da Gama, C. (2001b). *Estudo geológico e geomecânico do maciço granítico de Lamoso (Paços de Ferreira, NW de Portugal)*. Geociências, Revista da Universidade de Aveiro, 15: 79-92.
- Chaminé, H. I.; Fonseca, P. E.; Pereira, E.; Ribeiro, A. (1996). *Estruturas desenvolvidas em ortognaisses da Unidade de Lourosa induzidas pelo carregamento de S. João-de-Ver; Aspectos da deformação autóctone (Sector Espinho-Albergaria, Zona de Ossa Morena)*. In: Resumos alargados da 2ª Conferência Anual do GGET. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. pp. 45-48.
- Chaminé, H. I.; Gama Pereira, L. C.; Fonseca, P. E.; Noronha, F.; Lemos de Sousa, M. J. (2003). *Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto-Albergaria-a-Velha-Coimbra-Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal)*. Cadernos Lab. Xeol. Laxe, A Coruña, 28: 37-78.
- CIRIA/CUR (1991). *Manual of the use of rock in coastal and shoreline engineering*. Construction Industry Research and Information Association, Special Publication 83, Centre for Civil Engineering Research and Codes Report 154. Edição CIRIA/CUR, 607 p.

- CIRIA, CUR, CETMEF (2007). *The rock manual: the use of rock in hydraulic engineering*. 2nd edition. C683. CIRIA, London. 1200 p.
- Davis, J.C. (1986). *Statistics and data analysis in Geology*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc. Singapore. 646 p.
- Dias, R. e Ribeiro, A. (1993). *Porto-Tomar shear zone, a major structure since the beginning of the variscan orogeny*. Comunicações Inst. Geol. Min., 79: 31-40.
- Dinis da Gama, C. (1995). *Aspectos geotécnicos y de fracturación en la explotación de canteras*. In: C. López Jimeno (ed.). Cap. 10 del Manual de Rocas Ornamentales. Entorno Gráfico. S.L., Madrid, pp. 231-246.
- Dupray, S.; Simm, J. (2008). *Climate change materials and materials use*. The Edge, magazine of coastnet, Coastal Industry, UK, pp. 14-15.
- Freire de Andrade, C. (1938-1940). *Algumas considerações sobre a geologia dos arredores de Espinho e das Caldas de S. Jorge*. Boletim Mus. Labor. Miner. Geol. Fac. Ciênc. Univ. Lisboa, 3^a Sér., 7-8: 23-35.
- Gomes, A. (2008). *Evolução geomorfológica da plataforma litoral entre Espinho e Águeda*. Departamento de Geografia, Universidade do Porto. 339 pp. (Tese de Doutoramento).
- Gomes, N. (1977). *Tipos de esporões e aspectos construtivos*. Seminário sobre obras de protecção costeira, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Seminário 210, Lisboa.
- Gonçalves, J. A.; Piqueiro, F. (2004). *Geo-referenciação de imagens aéreas de uma câmara digital não métrica: aplicação à Costa Oeste de Portugal Continental entre a Figueira da Foz a Nazaré*. Actas do VIII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica, ESIG'2004, Oeiras. pp.1-8.
- GSE – Geological Society Engineering Group Working Party Report (1995). *The description and classification of weathered rocks for engineering purposes*. Quarterly Journal of Engineering Geology, Geological Society, 28 (3): 207-242.
- IH – Instituto Hidrográfico (2005). Tabela de Marés. Instituto Hidrográfico, consulta ao site em Fevereiro de 2005.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (1978). *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 15 (6): 319-368.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (1981). *Basic geotechnical description of rock masses*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 18: 85-110.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (2007). *The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring: 1974-2006*. In: R. Ulusay & J.A. Hudson (eds.), suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM. Ankara, Turkey. 628 p.
- Lamas, L. N. (1989). *Estudo da compartimentação de maciços rochosos por uma técnica de amostragem linear e dos blocos formados pelas descontinuidades: Aplicação a uma galeria do Alto Lindoso*. 3^o Congresso Nacional Geotecnia. SPG, 3: C33-C44.
- LCPC – Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (1989). *Les enrochements*. Ministère de l'Équipement, LCPC, Paris, 106 p.

- Marçal, A.; Teodoro, A.; Veloso-Gomes, F. (2004). *Monitoring the sea breaking zone in northwest Portugal using Earth observation*. Projecto COSAT. Programa POCTI/FEDER. 24th EARSel Symposium. New Strategies for European Remote Sensing. Croatia.
- Martins, R.; Moreira, P.; Pereira, C. S.; Neto, E. P.; Pereira, A. M.; Teixeira, J.; Vieira, A.; Chaminé, H. I. (2006). *A técnica de amostragem linear aplicada a estudos de compartimentação de maciços rochosos no Norte de Portugal*. In: Actas do 10.º Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia / Univ. Nova de Lisboa, 1: 255-264.
- Mota Oliveira, I. B.; Martins, L. M. (1991). *Obras de defesa e de reconstrução das praias de Espinho*. Revista da Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 12 (1/2): 71-88.
- Pires, A. (2005). *Um programa de monitorização sistemática de obras marítimas numa perspectiva da geoengenharia: o caso dos esporões da região de Espinho*. Relatório de projecto final de licenciatura em Engenharia Geotécnica. Departamento de Engenharia Geotécnica, ISEP, Porto, texto, 202 p.; anexos, 174 p. (Relatório inédito).
- Pires, A. (2007). *Geoengenharia e inspecção de obras marítimas: da matéria-prima à estrutura de protecção*. Universidade de Aveiro, texto, 268 p.; anexos, 140 p. e 4 mapas (Tese de mestrado).
- Pires, A.; Chaminé, H. I. (2007). *Geotechnical mapping evaluation of rock groynes in Espinho area (NW Portugal)*. In: L. Ribeiro e Sousa, C. Olalla & N. F. Grossmann (eds.), Proceedings of the 11th ISRM Congress of the International Society for Rock Mechanics, Lisbon. Francis & Taylor Group, London. 1: 307-310.
- Pires, A.; Chaminé, H. I. (2008a). *Aplicação SIG na geoengenharia de esporões: uma proposta metodológica para a caracterização de pedreiras*. In: Actas do 11º Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia / Univ. de Coimbra. 1: 307-314.
- Pires, A.; Chaminé, H. I. (2008b). *A geotecnia aplicada à inspecção de obras marítimas*. Tecnologia e Vida, Revista da Secção Regional do Norte da ANET, Porto, 3: 36-38.
- Pires, A.; Miranda, F. S.; Gomes, A.; Chaminé, H. I. (2006a). *Cartografia e inspecção de esporões da região de Espinho: uma proposta metodológica na perspectiva da geotecnia*. In: Actas do 10º Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia / Univ. Nova de Lisboa. 1: 165-174.
- Pires, A.; Gomes, A.; Chaminé, H. I. (2006b). *Morfodinâmica de sistemas costeiros: um exemplo de aplicação metodológica de SIG na costa de Espinho*. Livro de Resumos do 5º Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica, 2 a 4 de Novembro, Aveiro. pp. 167-168.
- Pires, A.; Vinagre, A.; Gomes, A.; Chaminé, H. I. (2007). *Aplicação SIG ao ordenamento do território na frente urbana de Espinho: uma previsão baseada na análise histórica da dinâmica costeira*. In: Dinâmicas geomorfológicas. Metodologias. Aplicação (3º Congresso Nacional de Geomorfologia). Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, APGeom, Lisboa. 5: 281-291.
- Pires, A.; Rocha, F.; Piqueiro, F.; Gomes, A.; Chaminé, H. I. (2009). *GIS mapping and geoengineering assessment of coastal system structures: GISCOAST project (NW Portugal, Iberia)*. Book of Abstracts of the CoastGIS'09, Santa Catarina, Brazil, 1 p.
- Pizarro, S.; Gomes, L.; Dinis da Gama, C.; Lopes, A.; Chaminé, H. I. (2005). *Aplicação de sistemas ópticos na avaliação granulométrica de granitóides para produção de inertes: o caso da pedreira de Malaposta (NW de Portugal)*. Cadernos Lab. Xeol. Laxe, A Coruña, 30: 57-74.

- Ribeiro, A.; Munhá, J.; Dias, R.; Mateus, A.; Pereira, E.; Ribeiro, L.; Fonseca, P.E.; Araújo, A.; Oliveira, J. T.; Romão, J.; Chaminé, H. I.; Coke, C.; Pedro, J. (2007). *Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides*. Tectonics, 26, TC6009: 1-24
- Santos, J.; Neves, M.; Silva, L. G. (2003). *Rubble-mound breakwater inspection in Portugal*. Relatório do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Silva, L. G. (1996). *Observação sistemática de quebra-mares de talude da costa portuguesa*. Revista da Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 17 (1): 13-24.
- Soares de Carvalho, G. (1985). *A evolução do litoral (conceitos e aplicações)*. Geonovas, Revista da Associação Portuguesa de Geólogos, Lisboa, 8-9: 3-15.
- SOMAGUE (1980). *Obras de defesa de Espinho: ante-projecto memória descritiva e programa de trabalhos*. SOMAGUE / DGP-Direcção Geral de Portos. (Relatório Inédito).
- USACE – U. S. Army Coastal Engineering Research Centre (2002a). *Coastal Engineering Manual*. Dep. of the Army, U. S. Army Corps of Engineers.
- USACE – U. S. Army Coastal Engineering Research Centre (2002b). *Engineering and design: hydrographic surveying*, EM 1110-2-1003. Dep. of the Army, U. S. Army Corps of Engineers.
- Veloso-Gomes, F.; Papadatos, M. (1995). *Metodologia para a quantificação da vulnerabilidade e risco de exposição das orlas costeiras às acções energéticas do mar*. Actas XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e do II Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Recife, Brasil
- Veloso-Gomes, F.; Taveira-Pinto, F.; Barbosa, J.; Neves, L.; Coelho, C. (2002). *High risk situation in the NW Portuguese Coast: Douro River - Cape Mondego*. Proceedings of the 6th International Symposium LITTORAL 2002. Associação EUROCOAST-PORTUGAL. pp. 411-421.
- Vinha da Silva, M. M.; Neiva, A. (1999). *Geoquímica dos minerais dos encraves microgranulares do granito de Lavadores (Vila Nova de Gaia)*. In: L. Aires-Barros, M.J. Matias; M.J. Basto (eds), Actas do II Congresso Ibérico de Geoquímica, Instituto Superior Técnico, Lisboa. pp. 41-44.
- Zuquette, L. V.; Gandolfi, N. (2004). *Cartografia geotécnica*. Oficina de textos, Brasil, 189 p.