

Associação Portuguesa de Geomorfólogos - Volume VI

# Geomorfologia 2008

Braga - 2009



Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos  
Volume VI

**Geomorfologia 2008**

Associação Portuguesa de Geomorfólogos  
Braga, 2009

**Título:** Geomorfologia 2008

**Editor:** Associação Portuguesa de Geomorfólogos

**Comissão redactorial:** Diamantino Pereira, Paulo Pereira, Isabel Caetano Alves, Renato Henriques, Luís Gonçalves.

**Comissão científica:** Alberto Gomes, Ana Ramos-Pereira, António Caetano Alves, António Campar de Almeida, António Martins, Assunção Araújo, Carlos Bateira, Catarina Ramos, Déborah Oliveira, Diamantino Pereira, Fernando Marques, Gonçalo Vieira, Helena Granja, M. Isabel Caetano Alves, José Luís Zêzere, Leonardo Santos, Luciano Lourenço, Lúcio Cunha, Luísa Rodrigues, Mário Neves, Paulo Pereira, Pedro Proença e Cunha, Renato Henriques Sílvio Rodrigues, Teresa Mira Azevedo, Virgínia Henriques.

**Capa (concepção):** Pedro Casinhas

**Fotografia da capa:** Diamantino Pereira

**Composição:** Pedro Casinhas

**Tiragem:** 300 exemplares

**ISBN:** 978-989-96462-0-9

**Depósito Legal:** 263141/07

**Impressão e acabamento:** Tipografia Abreu, Sousa & Braga, Lda.

Braga, Novembro de 2009

Associação Portuguesa de Geomorfólogos

Centro de Estudos Geográficos - Faculdade de Letras

Alameda da Universidade

1600-214 Lisboa

Portugal

Tel: +351 217 940 218, Fax: +351 217 938 690

Correio electrónico: [ceg@mail.telepac.pt](mailto:ceg@mail.telepac.pt)

# Desenvolvimento de metodologia específica para levantamentos topográficos detalhados em plataformas rochosas de sopé

Jorge Trindade<sup>1</sup>, Mário Neves<sup>1</sup>, Ana Ramos-Pereira<sup>1</sup> & Maria Francisca Gusmão<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudos Geográficos.

Edifício da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Alameda da Universidade, 1600-214 Lisboa

Tel: +351 217 940 218; Fax: +351 217 938 690; jtrindade@fl.ul.pt

**Resumo:** O estudo de litorais rochosos e, particularmente, de plataformas rochosas de sopé implica a obtenção de dados posicionais com elevada fiabilidade, sobretudo, quando os objectivos se prendem com a sua monitorização ou com a definição rigorosa de níveis distintos de modelado na faixa entre-marés ou acima desta. Face à quase inexistência de cartografia de base detalhada relativa a plataformas rochosas de sopé, a fase prévia do estudo destas plataformas deve incluir obrigatoriamente um levantamento topográfico detalhado. Neste trabalho, para alcançar esse objectivo, testaram-se duas técnicas complementares que permitem conciliar rigor e celeridade nos levantamentos – dGPS e Estação Total. Os levantamentos conducentes à elaboração desses mapas detalhados, utilizando GPS, colocam um conjunto de problemas já identificados, mas não quantificados. A análise da fiabilidade dos dados obtidos com recurso a dois dGPS foi aplicada à plataforma rochosa de sopé da Estremadura portuguesa (Ribeira de Ilhas Norte) e foram testadas várias metodologias para localizar o limite de fiabilidade destes dados. Os melhores resultados foram obtidos recorrendo ao ajuste sucessivo da linha de tendência polinomial aos valores dos erros obtidos. Os valores localizados entre a base da arriba e a linha de limite de fiabilidade foram eliminados e substituídos por dados de posicionamento levantados com recurso a uma Estação Total. Os resultados alcançados permitem afirmar que a metodologia seguida garante a elaboração de cartografia de base de plataformas rochosas de sopé com elevada precisão.

**Abstract:** Rocky coasts research and particularly shore platforms studies should be based on location data with high accuracy, especially when the purpose of the research is monitoring shore platform evolution or the accurate position of the different microforms levels in the intertidal zone or immediately above. Since topographic maps that include representation of the shore platforms are rare, the study of these coastal features must incorporate an initial phase dedicated to the production of a detailed topographic survey. In order to achieve that aim, in this work, we tested two complementary techniques that are able to conciliate accuracy and quickness – dGPS and Total Station. Nevertheless, the surveys using dGPS, is connected with a group of problems already identified, but no yet full quantified. Several profiles were measured at the shore platform of Ribeira de Ilhas Norte with the help of two differential GPS. The analysis of the data reliability was made and several methodologies were tested to calculate the reliability limit. The most consistent results were obtained with the progressive adjustment of the polynomial trend line to the inaccuracy values obtained. The location data of the points situated between the cliff base and the reliability limit line were eliminated and replaced by positioning data acquired with a Total Station. The results achieved allow the conclusion that the methodology applied permits the development of a high reliable cartographic base suitable for shore platform research.

**Palavras-chave:** Plataformas Rochosas de Sopé, Levantamento Cartográfico Detalhado, GPS, Estação Total, Estremadura Portuguesa.

**Keywords:** Shore Platforms, Detailed Cartographic Survey, GPS, Total Station, Portuguese Estremadura.

## 1. Introdução

A localização precisa da distribuição dos processos que contribuem para o rebaixamento das plataformas rochosas de sopé (PRS) carece do apoio de uma cartografia de pormenor exacta. Os mapas a utilizar devem apresentar uma elevada precisão, em particular no vector z (altitude), visto que muitos dos processos, quer ligados à meteorização, quer dependentes da acção biológica, se distribuem em função do nº de horas de emersão/submersão, por sua vez dependentes da descida e subida do nível do mar ligada ao ciclo das marés (Neves, 2004). Dado o muito fraco declive das plataformas, frequentemente inferior a 1°, qualquer erro na determinação das altitudes, pode implicar uma significativa distorção no cálculo do tempo de emersão/submersão e, conseqüentemente, na identificação e caracterização dos processos de evolução das plataformas envolvidos.

Os mapas topográficos ou não representam a PRS ou quando a representam, não oferecem a informação detalhada necessária para se constituírem como cartografia de base válida. Torna-se assim indispensável, sempre que se quer realizar trabalhos de pormenor nas PRS, elaborar a cartografia de referência com base num levantamento topográfico prévio. Este pode realizar-se com um GPS de elevada precisão que permite conciliar elevado rigor com baixo

custo. No entanto, esse levantamento topográfico de PRS envolve um conjunto de problemas que, se ignorados, podem comprometer a fiabilidade do resultado final. De uma maneira geral, estas plataformas rochosas são limitadas para o interior por arribas com declive e comando variáveis que interferem significativamente nos sinais dos satélites recebidos pelo dGPS e que condicionam claramente o rigor dos levantamentos.

Estas interferências são de dois tipos (Fig. 1):

- efeito de sombra – a arriba constitui uma barreira à comunicação entre o GPS e alguns satélites; no sopé de arribas sub-verticais, somente metade do céu é visível e, logo, a comunicação com satélites só é possível com aqueles que se encontrem nessa metade;

- “multipath error” – a arriba favorece a reflexão dos sinais enviados pelos satélites que introduzem distorção no sinal final recebido pelo GPS; embora os GPS mais sofisticados possuam processamento interno que filtra os sinais reflexos, na realidade, sempre que os sinais reflexos são muito fortes, o GPS pode registar medições erradas.

Estes dois tipos de interferência são cumulativos e crescentes em direcção à base da arriba. Deste modo, é fundamental determinar os valores dos erros de posicionamento para estabelecer claramente a linha a partir da qual, para o interior, a fiabilidade dos dados obtidos através do GPS é

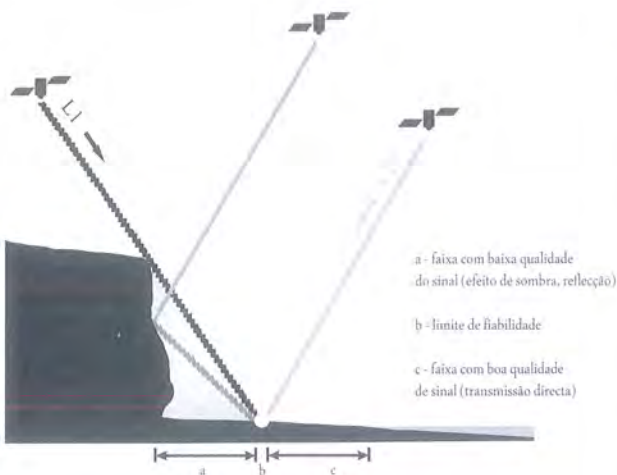


Figura 1 – Interferências das arribas nos sinais enviados pelos satélites para os GPS

insuficiente para o rigor pretendido com o levantamento.

## 2. Metodologia

A medição de pontos tendo em conta um sistema de coordenadas cartesianas predefinido só pode ser rigoroso se for conhecida com detalhe a especificidade do ambiente a medir, ou seja, os condicionalismos que este impõe à metodologia a utilizar e aos instrumentos.

Existem várias técnicas de levantamento de coordenadas  $x,y,z$  de elevada fiabilidade. Estas utilizam, em geral, medições directas sobre a superfície ou medições remotas através de plataformas aerotransportadas. As duas técnicas mais utilizadas em estudos de dinâmica litoral incluem a utilização de Estações Totais ou de sistemas de posicionamento global com possibilidade de correcção diferencial (dGPS), no levantamento topográfico de pontos sobre a superfície a monitorizar ou caracterizar (Trindade *et al.*, 2007).



Figura 2 – Localização da área de estudo

Durante os meses de Maio e Julho de 2008, realizaram-se várias campanhas de campo com o objectivo de adquirir a maior quantidade de dados possível de posicionamentos precisos na plataforma rochosa de sopé de Ribeira de Ilhas Norte, localizada na faixa litoral da Estremadura portuguesa aproximadamente a 2,5 km a Norte da Ericeira (Fig. 2). Para a aquisição do conjuntos de coordenadas  $x,y,z$  de cada ponto recorreu-se a uma Estação Total e a duas unidades dGPS. A precisão angular da Estação Total é de cerca de 1" e a fiabilidade posicional divulgada pelo fabricante de 4mm+2ppm, multiplicada pela distância de medição.

As unidades dGPS utilizadas possuem 14 canais paralelos, com leitura de frequência L1 (código Clear/Aquisição) recebendo correcções diferenciais em tempo real dos sistemas EGNOS e WAAS, este último sem utilidade na Europa. Estas unidades adquirem dados posicionais em modo estático ou cinemático (contínuo ou stop and go). O rigor do posicionamento horizontal apresentada pelo fabricante é de 0,005m+1ppm em modo estático e de 0,012m+2,5ppm em modo cinemático, enquanto na vertical é anunciada como sendo 0,01m+2ppm em modo estático e de 0,015m+2,5ppm em modo cinemático.

O levantamento de campo abrangeu grande parte da plataforma rochosa, numa área de cerca de 16 604m<sup>2</sup>, confinada entre a base da arriba e o sector submerso até ao limite de utilização do equipamento (Fig. 3).

Inicialmente foi necessário determinar alguns pontos conhecidos que serviriam de referência para os levantamentos posteriores com a Estação Total e com a unidade base do dGPS. As coordenadas dos pontos conhecidos foram estabelecidas através do posicionamento estático (tempo de permanência = 20'; intervalo de aquisição = 1") da unidade rover em dois locais marcados na plataforma rochosa, sendo os dados pós-processados pela unidade base (intervalo de aquisição = 1"), posicionada no vértice de Ribamar, a cerca de 1673m do local de levantamento. A fiabilidade dos conjuntos de coordenadas  $x,y,z$  varia entre 0,002m e 0,007m, sendo as estimativas de erro calculadas com base num intervalo de confiança de 95%.

A opção de vinculação dos dados obtidos à rede de vértices geodésicos nacional permite minimizar os erros associados à determinação da altura ortométrica local, aumentando a comparabilidade de resultados com outros locais de levantamento no litoral de Portugal.

O pós-processamento dos posicionamentos obtidos com a unidade dGPS foi realizado com recurso ao programa GNSS Solutions 3.00.07©, sendo as coordenadas iniciais, projectadas em Datum WGS84, transformadas para o sistema métrico Heyford-Gaus Datum Lisboa, com falsa origem das coordenadas rectangulares.

Os posicionamentos foram adquiridos de forma sistemática através da realização de perfis transversais à linha de costa, durante as marés baixas vivas (Fig. 3), recorrendo às unidades dGPS. Os perfis transversais realizados podem ser divididos em dois tipos: perfis de aproximação e perfis de afastamento à face da arriba. Posteriormente acrescentaram-se alguns dados de posicionamentos aleatórios junto à base da arriba, realizados com a Estação Total.

Os dados recolhidos incluem 5 284 conjuntos de coordenadas  $x,y,z$ , 5 066 dos quais adquiridos ao longo de 38 perfis.

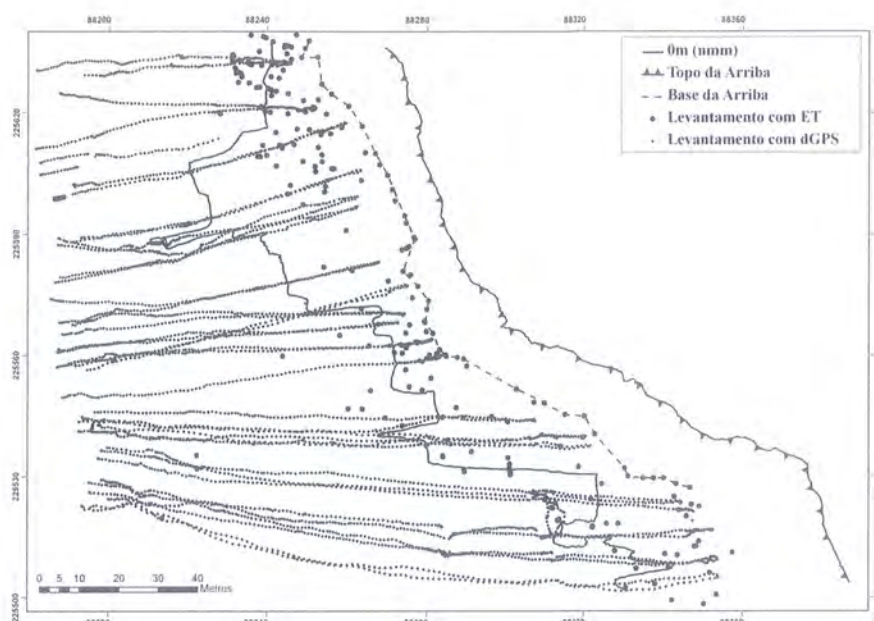


Figura 3 – Posicionamentos adquiridos em Maio e Julho de 2008, na plataforma rochosa de Ribeira de Ilhas Norte.

A utilização de duas técnicas distintas de posicionamento obrigou à determinação da comparabilidade dos resultados obtidos. Os testes de comparabilidade compreenderam a medição sucessiva e simultânea com a Estação Total e o dGPS de 20 pontos aleatórios, numa área de 4 650m<sup>2</sup>, permitindo comparar as posições nos planos tridimensional, horizontal e vertical.

As diferenças de leitura registadas não excederam 9,7cm, com um mínimo de disponibilidade de 7 satélites e com um PDOP melhor que 1,405 (Quadro 1). O diferencial máximo observado possui elevada relevância porque a disponibilidade de satélites é frequentemente superior à registada durante esta campanha (7 Sv's, Quadro 1), facto que pode afectar o PDOP no sentido da sua diminuição e aumenta a fiabilidade dos dados obtidos.

Como se pode verificar no quadro 1, as diferenças entre medições no plano tridimensional são idênticas às registadas no plano horizontal. Este facto ficou a dever-se à baixa amplitude dos valores de altitude dos pontos, originando medições de distâncias inclinadas num plano muito próximo da horizontal. Saliencia-se, por fim, os resultados obtidos no plano vertical, onde em média são de esperar diferenças nas medições inferiores à dimensão centimétrica. As diferenças observadas entre leituras sobre os mesmos pontos, com dGPS e Estação Total, permitem afirmar a semelhança entre os registos posicionais de cada um, na escala de análise pretendida.

	Mínima (m)	Média (m)	Máxima (m)	Desvio padrão (m)	Sv's (média)	PDOP (mínimo)
_3D	0	0,032	0,097	0,022	7	1,405
_x,y	0	0,032	0,097	0,022		
_z	0,001	0,008	0,032	0,007		

Quadro 1 – Diferenças entre os registos dGPS e ET simultâneos nos planos tridimensional, horizontal e vertical.

### 3. Resultados e discussão

A análise inicial aos 5 066 pontos dGPS das campanhas realizadas na PRS de Ribeira de Ilhas Norte revelou que, embora os valores mínimos das imprecisões obtidas após a correcção diferencial dos dados se aproximasse dos valores divulgados pelo fabricante dos aparelhos, o erro médio em x,y,z era distinto (Quadro 2).

Com condições de levantamento propícias à ocorrência de erros devido à proximidade da face da arriba e ao baixo número de satélites e de PDOP disponíveis (Quadro 2) para a obtenção de coordenadas fiáveis, a determinação do posicionamento vertical revelou-se, em termos médios, mais

	Mínimo (m)	Médio (m)	Máximo (m)	Desvio padrão (m)	Sv's (média)	PDOP (média)
x	0,019	0,169	6,933	0,313	7,645	3,065
y	0,021	0,156	6,261	0,253		
z	0,044	0,321	4,938	0,336		

Quadro 2 – Erros nos posicionamentos dGPS após correcção diferencial pós-processamento.

problemática (0,321m), superando largamente o erro obtido nas coordenadas x,y (0,169m e 0,156m respectivamente). Verificou-se, no entanto, que grande parte dos pontos pós-processados possuía fiabilidades verticais superiores à média registada (76,9% entre 0,100m e 0,300m – Fig. 4). A distribuição espacial da classificação de erros associados ao posicionamento altimétrico em Ribeira de Ilhas Norte revelou uma tendência já esperada de diminuição da fiabilidade dos resultados pós-processados com a aproximação à face da arriba (Fig. 4).

A presença deste obstáculo que limita o horizonte (efeito de sombra) e funciona como factor de reflexão do sinal transmitido entre os satélites e as unidades GPS ficou também registada de forma inequívoca nas leituras da unidade rover. A aplicação da classificação da qualidade do sinal rece-

Classe de erro	(%)
[0m - 0,1m]	0,6
]0,1m - 0,2m]	32,6
]0,2m - 0,3m]	44,3
]0,3m - 0,4m]	5,2
> 0,4m	17,3

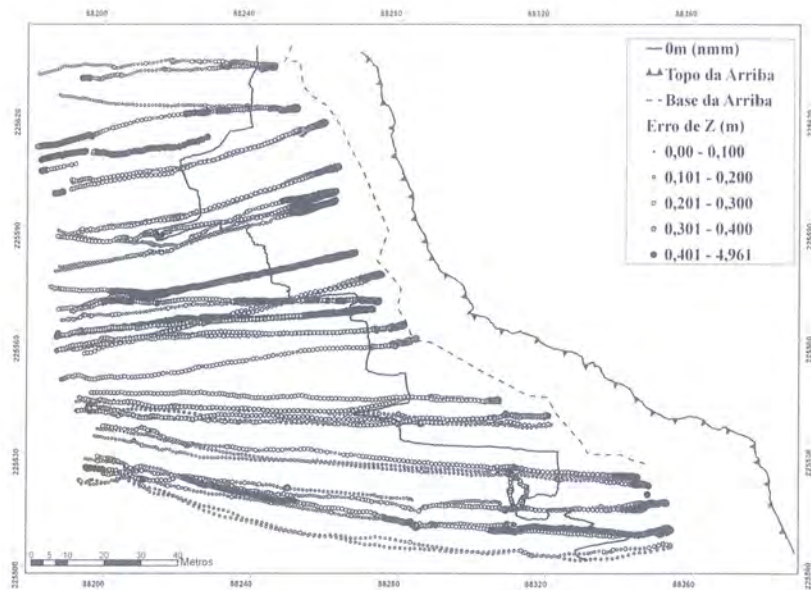


Figura 4 – Frequência relativa de erros no posicionamento vertical.

bido pela unidade GPS (Gurtner, 2001) aos dados recolhidos na PRS de Ribeira de Ilhas Norte, demonstra que existe um enfraquecimento do sinal GPS com a aproximação à arriba (Fig. 5). Esta deterioração do sinal, associada ao aumento de fenómenos de reflexão das ondas rádio na face da arriba, é acompanhada por uma diminuição na quantidade de satélites disponíveis para o cálculo da posição em cada ponto, devido à redução do horizonte disponível (Fig. 5). Como se referiu na Introdução, o posicionamento vertical fiável possui elevada importância no estudo das PRS. Embora corresponda a uma técnica de aquisição de dados utilizada nos estudos sobre estas formas litorais (Dornbusch *et al.*, 2005; Dornbusch *et al.*, 2007; de Lange & Moon, 2005), as referências a critérios para a definição dos limites de fiabilidade no posicionamento altimétrico de uma nuvem de dados posicionais são raras, assumindo-se geralmente a fiabilidade divulgada pelo fabricante.

A definição dos limites de fiabilidade na nuvem de pontos GPS pós-processados, recolhidos em Ribeira de Ilhas Norte, foi determinada pelo ajuste sucessivo de curvas de tendência dos dados dos erros altimétricos de cada perfil transversal realizado. Através da distribuição dos respectivos coeficientes de determinação foi possível determinar o ponto no perfil a partir do qual são evidentes os efeitos de sombra e de reflexão no sinal GPS. Apenas foram considerados perfis com um coeficiente de determinação superior a 0,55 evitando a perda de significado estatístico na definição dos limites de fiabilidade.

O método de ajuste escolhido foi a regressão polinomial

de ordem 2. O ajuste polinomial da curva de tendência revelou, de forma sistemática, coeficientes de determinação mais elevados, quando comparado com outros métodos (Quadro 3).

A figura 6 apresenta alguns exemplos da determinação dos limites de fiabilidade em cada perfil. Como se pode verifi-

	Linear (R2)	Logart. (R2)	Polinom. (R2)	Exponencial (R2)
P4	0,1033	0,115	0,135	0,1015
P6	0,4486	0,4729	0,6014	0,4229
P7	0,4915	0,2329	0,8318	0,5256
P8	0,4825	0,2228	0,8073	0,5439
P9	0,4021	0,2404	0,6032	0,4554
P10	0,4177	0,2089	0,7162	0,4627

Quadro 3 – Exemplos de valores de coeficiente de determinação, segundo vários métodos de ajuste aos erros altimétricos por perfil.

car, a forma suavizada da curva de ajuste simples aos dados dos erros altimétricos (Polinomial - erro\_z) não fornece qualquer informação sobre o limite exacto de fiabilidade. São, no entanto, evidentes os aumentos bruscos no coeficiente de determinação - R2 com a aproximação à face da arriba, sendo possível determinar o conjunto de coordenadas x,y,z correspondentes ao ponto de inflexão da curva. A definição dos limites de fiabilidade por perfil permitiu, assim, identificar espacialmente os pontos a partir dos quais a degradação dos resultados pós-processados era evi-

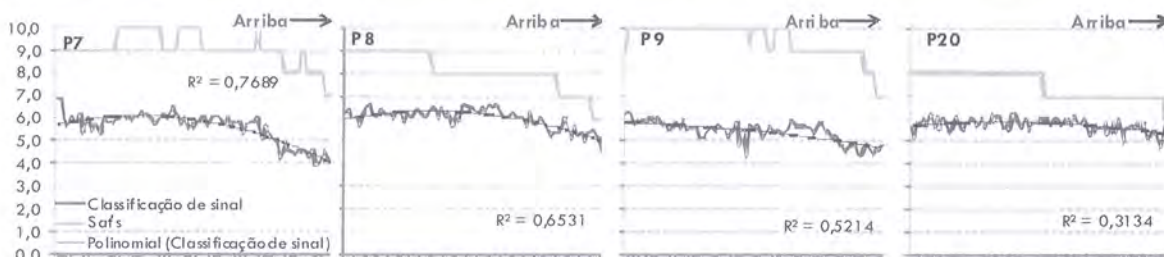


Figura 5 – Classificação da qualidade do sinal recebido pela unidade GPS rover.

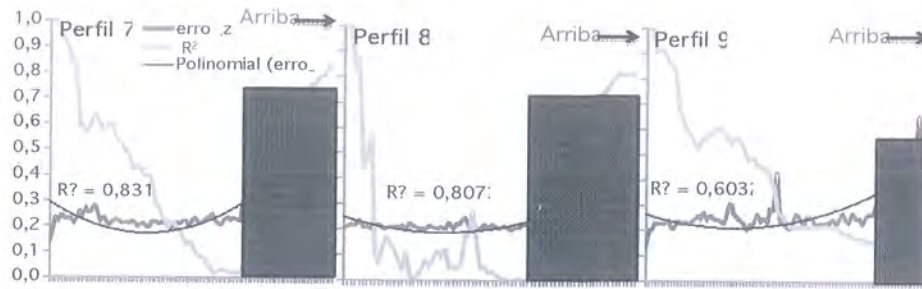


Figura 6 – Exemplos do ajuste sucessivo pelo método de regressão polinomial de ordem 2 aos dados dos erros altimétricos registados nos perfis transversais de Ribeira de Ilhas Norte. A sombreado encontram-se os dados excluídos pelo limite de fiabilidade.

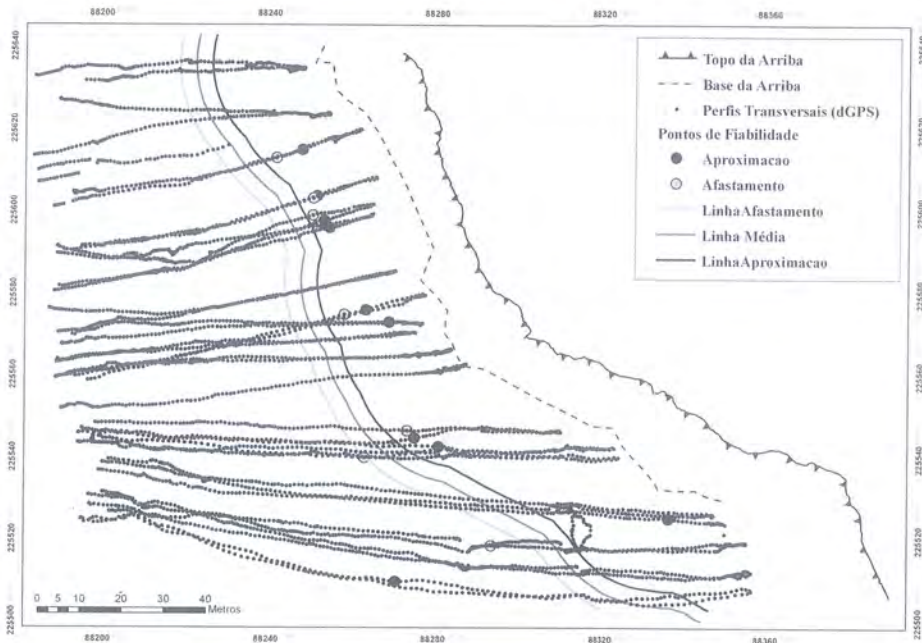


Figura 7 – Pontos e linhas de fiabilidade, na plataforma rochosa de Ribeira de Ilhas Norte.

dente, sendo possível distinguir dois tipos de limites (Fig. 7). Os pontos de limite de fiabilidade associados aos perfis de aproximação possuem sempre um posicionamento mais próximo da face da arriba quando comparados com os pontos calculados a partir dos respectivos perfis de afastamento. Esta diferenciação apenas pode ser explicada pelas limitações do aparelho na reaquisição do sinal perdido durante a aproximação ao obstáculo.

O cálculo da distância média de fiabilidade em relação à base da arriba baseou-se na ponderação das distâncias entre os pontos de aproximação e os pontos de afastamento e entre cada um e a arriba (eqs. 1, 2 e 3).

$$Df_{ap} = \frac{\left(\frac{a_1 + b_1}{2} \cdot a_1\right) + \left(\frac{b_1 + c_1}{2} \cdot b_1\right) + \dots}{a_1 + b_1 + c_1 + \dots}$$

Equação 1

$$Df_{af} = \frac{\left(\frac{a'_1 + b'_1}{2} \cdot a'_1\right) + \left(\frac{b'_1 + c'_1}{2} \cdot b'_1\right) + \dots}{a'_1 + b'_1 + c'_1 + \dots}$$

Equação 2

$$Df = \left(\frac{Df_{ap} + Df_{af}}{2}\right)$$

Equação 3

Dfap corresponde à distância de fiabilidade associada aos perfis de aproximação; Dfaf indica a mesma distância relacionada com os perfis de afastamento; Df representa a distância média de fiabilidade dos posicionamentos altimétricos; at, bt, ct,... representam, nos perfis de aproximação, a distância perpendicular de cada ponto limite de fiabilidade à base da arriba; a't, b't, c't,... correspondem ao mesmo parâmetro nos perfis de afastamento; al, bl, cl,... indica a distância entre cada ponto limite de fiabilidade, nos perfis de aproximação; a'l, b'l, c'l...

indica a mesma distância nos perfis de afastamento.

A aplicação das equações 1, 2 e 3 permitiu definir as linhas de fiabilidade para a plataforma rochosa de Ribeira de Ilhas Norte, que se localizam em média (Df - eq. 3) a 28,6m da base da arriba. As linhas de fiabilidade associadas à aproximação e afastamento da arriba foram também calculadas, tendo sido determinados os valores de Dfap = 24,7m e de Dfaf = 32,5m.

A linha média de fiabilidade foi, finalmente, utilizada para eliminar todos os posicionamentos dGPS adquiridos entre esta e a base da arriba (Fig. 7), tendo sido substituídos por pontos medidos com a Estação Total (Fig. 1). O novo conjunto de pontos serviu de base à construção do Modelo Digital de Terreno da PRS da Ribeira de Ilhas Norte (Fig. 8). Este documento constitui a base topográfica de referência em estudos futuros.

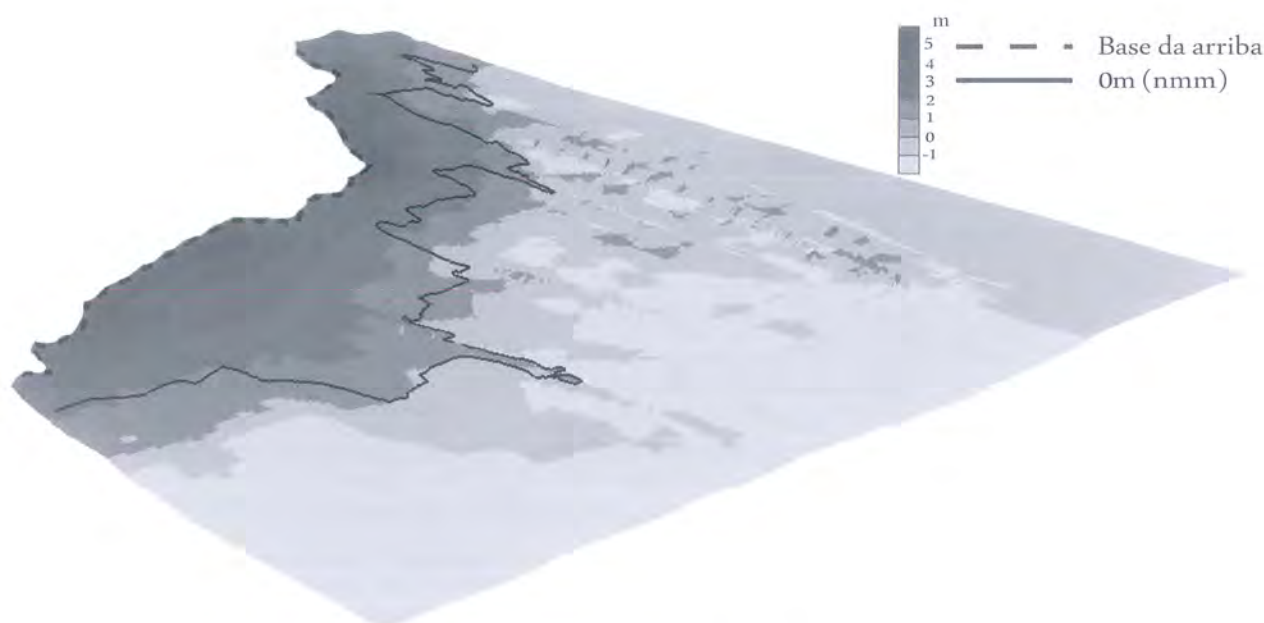


Figura 8 – Modelo Digital de Terreno da plataforma rochosa de sopé de Ribeira de Ilhas Norte.

#### 4. Conclusão

A metodologia empregue permitiu comparar duas técnicas complementares de levantamento topográfico amplamente utilizadas em estudos de dinâmica litoral. Os estudos de comparabilidade de resultados são essenciais quando se pretende a utilização de várias técnicas de aquisição do mesmo tipo de dados e, sobretudo, avaliar a fiabilidade dos dados que se estão a utilizar e comparar. Uma vez provada a comparabilidade de resultados, a complementaridade de técnicas de aquisição de dados diminui as desvantagens da sua utilização, aumentando a fiabilidade dos resultados. As campanhas realizadas na plataforma rochosa de sopé de Ribeira de Ilhas Norte, permitiram avaliar a influência da proximidade da arriba nos conjuntos de coordenadas  $x, y, z$  de cada ponto pós-processado. Comprovou-se a menor qualidade dos levantamentos dGPS junto à base da arriba, não só pela observação da deterioração da qualidade do sinal recebido pelo receptor rover como pela posterior classificação directa dos erros calculados para cada ponto de levantamento.

Determinou-se também um limite de fiabilidade médio para a plataforma rochosa de Ribeira de Ilhas Norte, baseado no ajuste sucessivo da tendência de distribuição de erros altimétricos estabelecidos em pós-processamento, tendo os coeficientes de determinação sido calculados pelo método

da regressão polinomial de ordem 2. O limite de fiabilidade dos dados, que no caso da plataforma rochosa analisada se localiza a 28,6m da base da arriba, permitiu assumir critérios objectivos para a selecção de pontos, optimizando e melhorando a qualidade da cartografia final, sem recorrer à exclusão indiscriminada de valores.

#### Referências Bibliográficas

- Dornbusch, U.; Moses, C.; Robinson, D. & Williams, R., 2005. Soft copy photogrammetry to measure shore platform erosion on decadal time scales. *Proceedings of CoastGis 2005, 6th International Symposium on GIS and Computer Cartography for Coastal Zone Management*, Aberdeen, 72 – 84.
- Dornbusch, U.; Robinson, D.; Williams, R. & Moses, C., 2007. Chalk shore platform erosion in the vicinity of sea defense structures and the impact of construction methods. *Coastal Engineering*, Vol 54, 801 – 810.
- de Lange, W.P., Moon, V.G., 2005. Estimating long-term cliff recession rates from shore platform widths. *Engineering Geology*, Vol 80 (2005), 292 – 301.
- Gurtner, W., 2001. RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 2.10. <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/rinex210.txt>.
- Neves, M., 2004. Evolução actual dos litorais rochosos da Estremadura Norte. Estudo de Geomorfologia. Dissertação de Doutoramento em Geografia (Geografia Física), Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa.
- Trindade, J.; Pereira, A. R.; Neves, M.; Borges, B. & Paixão, R., 2007. Monitorização da morfodinâmica de praias com dGPS e Estação Total. Comparação de resultados. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, Vol. V, 293 - 301

# Amplitude da morfodinâmica de praias da Estremadura, na sequência de episódios de elevada energia hidrodinâmica

J. Trindade<sup>1</sup>, A. Ramos-Pereira<sup>1</sup> & M. Neves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudos Geográficos

Edifício da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Alameda da Universidade, 1600-214 Lisboa

Tel: +351 217 940 218; Fax: +351 217 938 690; jtrindade@fl.ul.pt

**Resumo:** O objectivo do presente artigo é avaliar a resposta morfodinâmica das praias a episódios de elevada hidrodinâmica marinha. Utilizam-se, para o efeito, os resultados de quatro campanhas realizadas nas praias de Sta. Rita, Azul e Foz do Lizandro, incluindo dados das condições pré e pós episódio de elevada hidrodinâmica marinha, nomeadamente: (i) morfossedimentares; (ii) da variabilidade do balanço sedimentar, resultado da monitorização sucessiva de perfis de praia emersa com unidades de dGPS e estação total, depois de testados vários métodos de interpolação para o cálculo do volume; (iii) das variações sedimentológicas (texturais) de amostras recolhidas sistematicamente na berma, face da praia, base da face da praia e terraço de maré, sempre que estes elementos se encontravam presentes. O comportamento morfodinâmico das praias é avaliado através da aplicação dos parâmetros surf similarity ou número de Iribarren e dimensionless fall velocity. Os resultados permitem distinguir as respostas modais e extremas dos três sistemas em relação a episódios de elevada energia hidrodinâmica, revelando o elevado potencial que a monitorização sistemática de praias possui na previsão do seu comportamento.

**Abstract:** The aim of this study is to assess the morphodynamic response of three beach systems to high wave climate events. Results from four monitoring campaigns carried out in Sta. Rita, Azul and Foz do Lizandro beaches are analyzed, including: (i) morphossedimentary data; (ii) sediment budget variability; (iii) sediment textural data from the berm, beach face, base of the beach face and low tide terrace. Beach morphodynamic behavior is assessed through parameterization of the surf similarity index and the dimensionless fall velocity parameter. Results show the modal and extreme responses of the three beach systems to high wave episodes and the high potential of systematic beach monitoring programmes in the characterization and prediction of beach morphodynamic behavior.

**Palavras-chave:** morfodinâmica de praias, parâmetros morfodinâmicos, monitorização de praias

**Keywords:** beach morphodynamics, morphodynamic parameters, beach monitoring

## 1. Introdução

As praias são sistemas muito dinâmicos, resultado da natureza não coesiva dos seus sedimentos e da coexistência de vários elementos forçadores com elevados níveis energéticos que podem actuar sobre a praia.

Embora se possa afirmar que existem ciclos morfológicos sazonais neste tipo de sistemas, as modificações mais significativas ocorrem em curtos períodos de tempo, resultado de um aumento energético da hidrodinâmica marinha.

A quantificação da resposta morfológica das praias a condições deste tipo é um elemento importante para compreender a capacidade que os sistemas possuem de absorver e dissipar a energia da ondulação.

O presente trabalho pretende avaliar o comportamento

modal e extremo dos sistemas da praia de Sta. Rita, praia Azul e praia da Foz do Lizandro, relativamente a episódios de elevada energia hidrodinâmica, através da análise da sua variabilidade morfossedimentar.

As referidas praias localizam-se no litoral rochoso da Estremadura (Fig. 1), entre Peniche e Cascais (39°10'30"N – 38°56'27"). Este troço de litoral caracteriza-se por possuir um regime de mesomaré semidiurno. A amplitude média das marés vivas é de 3,075m, registados no marégrafo de Cascais, durante o ano de 1998. Trata-se de um sector do litoral português dominado pela energia hidrodinâmica das ondas. A altura média da ondulação atinge 2,5m no Inverno (Pires, 1989) e o período de retorno de ondas de 10m é de cerca de 5 anos (Carvalho, 1992). Aplicando o modelo MAR3G (Pires, 1996) a uma série de dados representativos

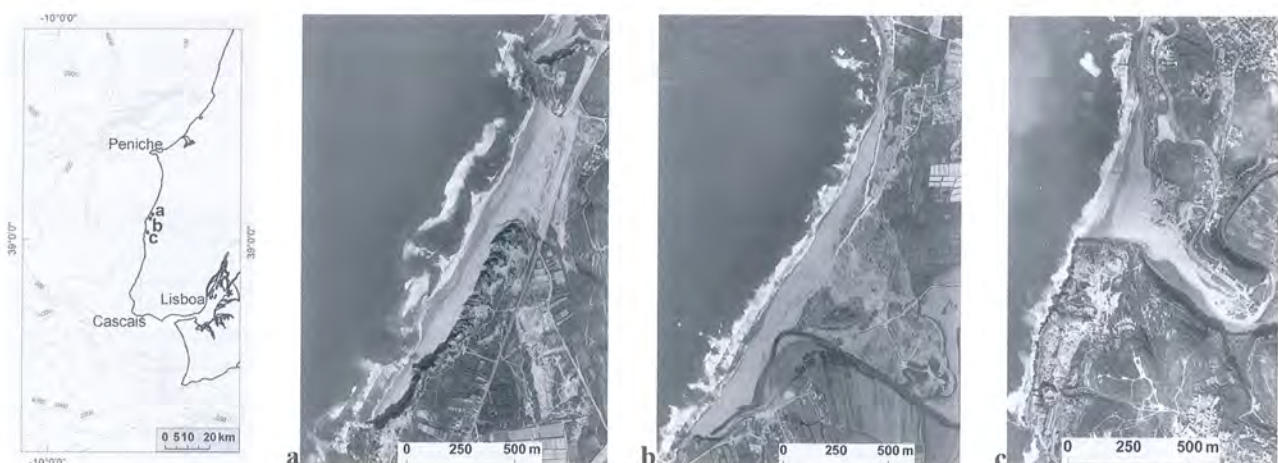


Figura 1 – Sistemas litorais arenosos da praia de Sta. Rita (a), praia Azul (b) e praia da Foz do Lizandro (c).

das interações oceano-atmosfera, Carvalho (2004) estima a ocorrência de 8 temporais ( $H_s > 4m$ ) por ano neste troço de litoral. A direcção dominante das ondas corresponde ao rumo NW em cerca de 265 dias por ano (Costa, 1994), apesar de grande parte dos temporais que ocorrem no litoral da Estremadura proceder de W (Carvalho, 2004). Os temporais de SW são menos frequentes, mas a sua magnitude é elevada, podendo as ondas atingir 10 – 12m (Taborda *et al.*, 1992; Ramos-Pereira, 1999).

A par da hidrodinâmica marinha, o fornecimento de sedimentos é igualmente relevante na dinâmica das praias. A deriva litoral circula neste troço de Norte para Sul, podendo, no entanto, ocorrer a inversão local do seu sentido de circulação em situações de mar de SW (Ramos-Pereira, 1991). Existem várias estimativas do volume de sedimentos transportados pela deriva no litoral norte de Portugal continental que podem variar entre  $1,0 \times 10^6$  e  $2,3 \times 10^6 m^3/m$ /ano (Oliveira *et al.* 1982; Bettencourt & Ângelo, 1992; Taborda, 1993; Vidinha *et al.*, 1997; Lorangeiro, 2002), mas quase nada se sabe dos sedimentos em trânsito entre Peniche e Cascais. É, no entanto, evidente que se trata de uma faixa litoral onde os balanços sedimentares globais não tendem para valores positivos, mas antes para um equilíbrio dinâmico ou para um défice no fornecimento sedimentar aos sistemas litorais arenosos. Grande parte dos sedimentos em trânsito de Norte para Sul é captada pelo canhão da Nazaré ou fica retida a norte do tómbolo de Peniche. A natureza carbonatada e argilosa dos materiais que compõem as pequenas bacias hidrográficas que drenam este sector de litoral limita o fornecimento local de sedimento e contribui para o referido défice sedimentar (Ramos-Pereira, 1987; Neves, 2004; Trindade *et al.*, 2007).

As praias de Sta. Rita, Azul e Foz do Lizandro representam diferentes tipos de sistemas litorais arenosos quanto à sua génese e dimensão actual (Quadro 1), tendo em comum a exposição à ondulação dominante (NW), mas também às ondas com origem nos octantes W e SW. A praia de Sta. Rita destaca-se por representar um sistema compósito de praia-duna no sector norte e de praia arriba no sector sul

(Quadro 1 e Fig. 1a). A praia Azul corresponde ao maior dos três sistemas estudados (Quadro 1) e a um dos mais extensos do litoral entre Peniche e Cascais. A praia da Foz do Lizandro, associada ao estuário estreito do rio Lizandro é, entre os sistemas estudados aquele que tem dimensões mais reduzidas (Quadro 1).

## 2. Metodologia

Entre Dezembro de 2005 e Maio de 2006 realizaram-se 4 campanhas de monitorização da morfodinâmica dos sistemas da praia de Sta. Rita, praia Azul e praia da Foz do Lizandro, antes e após a ocorrência de dois episódios de elevada energia hidrodinâmica (Quadro 2). Estas campanhas enquadram-se no programa de monitorização litoral em curso no Centro de Estudos Geográficos.

A realização de perfis de praia ancorados em pontos conhecidos, e por isso sobreponíveis entre campanhas, permitiu a recolha de parâmetros morfológicos que serviram de base ao cálculo do balanço sedimentar e do declive da face da praia. As quatro campanhas realizadas nas três praias resultaram na aquisição de pontos x,y,z ao longo de 64 perfis (Quadro 2), monitorizados com dGPS e Estação Total.

A avaliação da variabilidade volumétrica por perfil permitiu estudar a dinâmica morfológica dos sistemas. O volume foi calculado entre o nível médio do mar (0m) e o ponto de não mobilidade relativa dos sedimentos por acção da hidrodinâmica marinha (Ferreira, 1998; Baptista, 2006), recorrendo ao método de interpolação kriging que revelou valores residuais altimétricos e volumétricos mais baixos (Quadro 3).

As campanhas de monitorização foram acompanhadas de colheitas, por raspagem superficial, de amostras dos sedimentos das praias nos elementos morfológicos mais expostos: a berma, a face da praia, a base da face da praia e o terraço de maré. O tratamento das amostras foi realizado no Laboratório de Geografia Física, do Centro de Estudos Geográficos. As amostras foram secas e pesadas em balança de precisão (0,01g), tendo sido também determinado o

	Praia de S <sup>ta</sup> . Rita	Praia Azul	Praia da Foz do Lizandro
Tipo de sistema actual	Praia – Duna / Praia – Arriba	Praia – Planície aluvial	Praia – Planície aluvial
Tipo de sistema pré-existente	Restinga /Laguna costeira	Planície aluvial ampla	Estuário estreito
Declive da plataforma continental interna (0 → -40m)	0,33°	0,36 °	0,61 °
Área da praia emersa (m <sup>2</sup> )	113 019	136 412	73 544
Área das dunas actuais (m <sup>2</sup> )	33 921	445 679	17 096
Área das dunas herdadas (m <sup>2</sup> )	355 566	--	---
Área emersa do sistema actual (m <sup>2</sup> )	146 840	582 091	90 640

Quadro 1 – caracterização dos sistemas litorais arenosos da praia de Sta. Rita, praia Azul e praia da Foz do Lizandro.

	Datas das campanhas		Nº de perfis de praia	
	Pré-temporal	Pós-temporal		
Praia de S <sup>ta</sup> . Rita	17.12.05	14.05.06	5	5
	04.01.06	28.05.06	5	5
Praia Azul	16.12.05	15.05.06	6	6
	02.01.06	26.05.06	6	6
Praia da Foz do Lizandro	15.12.05	12.05.06	5	5
	03.01.06	25.05.06	5	5

Quadro 2 – Campanhas de monitorização.

	Altitude residual média (m)	Volume residual médio (m3/m)
Inverso da distância	0,069	-2,716
Kriging	0,030	-1,685
Vizinho mais próximo	0,048	-3,308
Média móvel	0,965	-74,352

Quadro 3 – Valores residuais na interpolação da altitude e volume.

seu conteúdo em carbonatos. Posteriormente, as areias foram crivadas, permitindo separar os pesos específicos por dimensão do grão entre 4,0mm e 0,044mm, em intervalos regulares de 0,5φ. Os parâmetros estatísticos foram calculados com base no método dos momentos (Friedman & Sanders, 1978), com o auxílio da folha de cálculo SEDMAC/SEDPC (Henriques, 2004).

Os parâmetros das ondas foram obtidos pela bóia ondógrafo de Leixões e serviram de base para a transformação da altura da onda de largo ( $H_o$ ) para a altura da onda na rebentação ( $H_b$ ).  $H_b$  é um dos parâmetros mais utilizados na determinação de índices morfodinâmicos, tendo sido obtido pela aplicação da formulação de Komar e Gaugan (1972) (eq. 1).

$$H_b = 0,39g^{0,2}(T \cdot H_o^2)^{0,4} \quad \text{Equação 1}$$

em que:

0,39 representa um coeficiente empírico obtido a partir de dados de campo e de laboratório (Munk, 1949) e mais tarde confirmado por Wieshar e Byrne (1978); g corresponde à aceleração gravítica (980,665 cm/s<sup>2</sup>) e T representa o período da onda.

Para a classificação hidro-morfodinâmica das praias estudadas foi necessário recorrer à determinação do tipo de onda na rebentação ( $\xi_b$  – eq. 2) (Batjes, 1974) e ao parâmetro morfodinâmico adimensional ( $\Omega$  – eq. 3) (Wright & Short, 1984). As formulações  $\xi$  e  $\Omega$  têm sido amplamente utilizadas em vários tipos de sistemas de baixa e elevada energia (Masselink & Hegge, 1995; Ferreira, 1998; Benavente et al, 2002; Benedet, Finkl & Klein, 2004; Benedet, Finkl, Campbell & Klein, 2004; Goodfellow & Stephenson, 2005; Anfuso & Benavente, 2006; Baptista, 2006), resultando numa forma eficaz de caracterizar as respostas das praias à alteração nos parâmetros hidrodinâmicos, morfológicos e sedimentares.

$$\xi_b = \frac{\tan \beta}{(H_b / L_o)^{1/2}} \quad \text{Equação 2}$$

$$\Omega = \frac{H_b}{w_s \cdot T} \quad \text{Equação 3}$$

em que:

$\tan\beta$  representa o declive médio da face da praia, calculado a partir da determinação das inclinações absolutas do mesmo elemento morfológico em cada perfil e em cada dia de monitorização (Quadro 2);  $L_o$  corresponde ao comprimento da onda de largo, podendo ser determinado através da aplicação da teoria linear das ondas (eq. 4);  $w_s$  é a velocidade de queda dos grãos de quartzo, determinada pela aplicação da formulação da eq. 5, de Hallermeier (1981

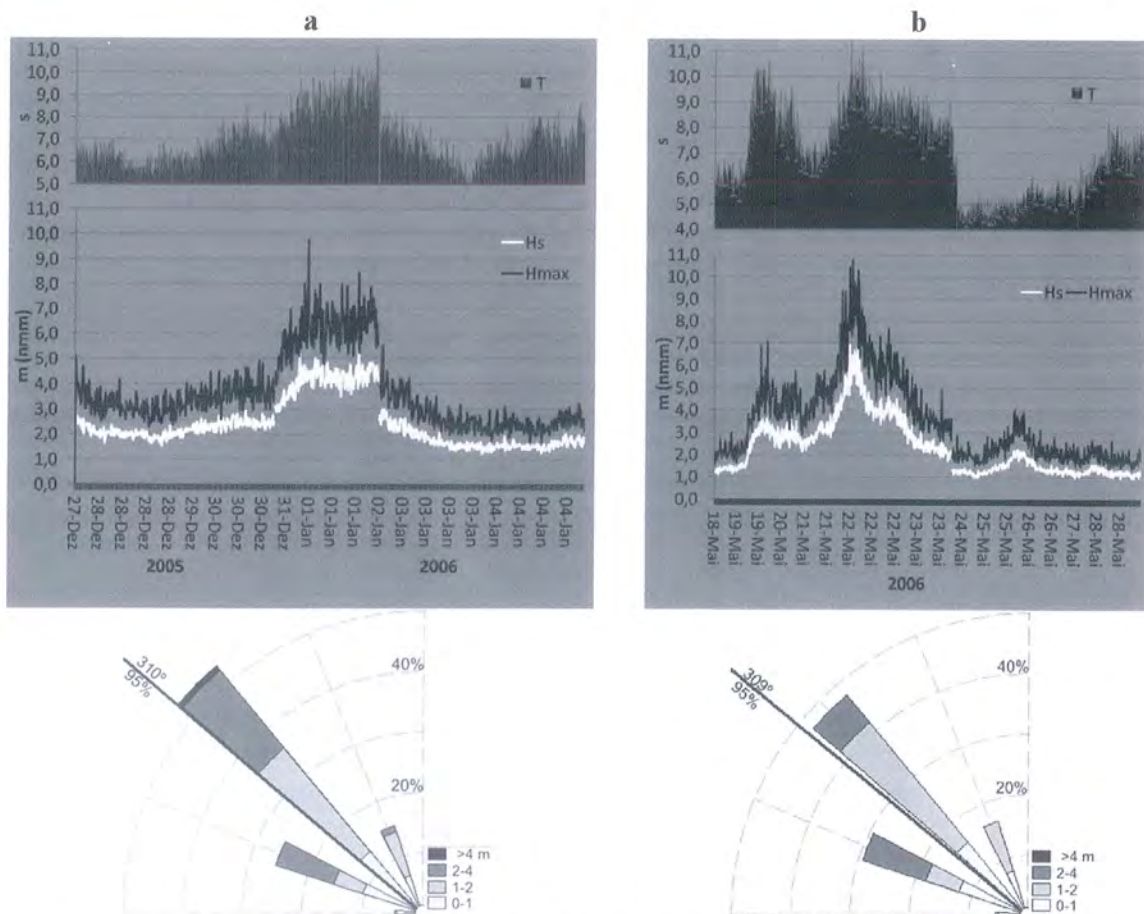


Figura 2 – Parâmetros da agitação marítima associados aos episódios de elevada hidrodinâmica de Janeiro (a) e Maio (b) de 2006 (bóia ondógrafo de Leixões).

a,b), ao grão mediano de cada amostra (D50, segundo Pas-sega, 1957). A adopção da eq. 5 depende da determinação do índice de fluabilidade de partículas (A – eq. 6), representando a eq. 5 valores de A entre 39 e 104 (Hallermeier, 1981 a,b).

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} \quad \text{Equação 4}$$

$$w_s = \left[ \frac{(\rho_s - \rho)g}{\rho} \right]^{0,7} D_{50}^{1,1} \quad \text{Equação 5}$$

$$A = \frac{(\rho_s - \rho)gD_{50}^3}{\rho\nu^2} \quad \text{Equação 6}$$

em que:

$\rho_s$  corresponde à média das densidades dos grãos de quartzo ( $\approx 2,648 \text{ g/cm}^3/\text{m}$ ) e das conchas ( $\approx 2,800 \text{ g/cm}^3/\text{m}$ ), ponderada pela representatividade dos respectivos materiais em cada amostra;  $\rho$  é a densidade da água salgada ( $\approx 1,026 \text{ g/cm}^3$  a  $15^\circ\text{C} - 33 \text{ ppm}$ );  $\nu$  representa a viscosidade da água salgada ( $\approx 0,0119 \text{ cm}^2/\text{s}$  a  $15^\circ\text{C} - 33 \text{ ppm}$ ).

### 3. Resultados e discussão

Os episódios de Janeiro e de Maio de 2006 (fig. 2) correspondem a eventos de elevada energia hidrodinâmica, tendo apenas esporadicamente sido atingida a altura significativa ( $H_s$ ) > 5m. Embora espaçados no tempo, estes eventos apresentam-se bastante semelhantes na sua duração (Janeiro – 53h; Maio – 54h), na  $H_s$  média (Janeiro – 3,89m; Maio – 3,67m), no pico de altura máxima ( $H_{max}$ ) (Janeiro – 9,77m; Maio – 10,77m), no período médio ( $T_z$ ) (Janeiro – 8,54s; Maio – 8,38s) e na direcção significativa ( $D_s$ ) (Janeiro –  $310^\circ$ ; Maio –  $309^\circ$ ).

Os valores elevados de  $H_s$  e a predominância de rumos de ondas do octante NW (Fig. 2) originam, em grande parte do litoral ocidental de Portugal, uma corrente de deriva li-

toral orientada para Sul.

Praia de Sta. Rita:

Nesta praia, os resultados da monitorização de Janeiro de 2006 revelaram uma elevada variabilidade dos volumes, tendo sido registada a diferença máxima pós e pré-evento de  $1093,3\text{m}^3/\text{m}$  (Fig. 3). Os resultados de Maio mostram uma resposta distinta (Fig. 3), com uma menor variação volumétrica ( $298,1\text{m}^3/\text{m}$ ). Após a ocorrência de ambos os episódios, o balanço entre o declive da face da praia pós e pré-evento é negativo (Fig. 4), indicando uma diminuição nos valores de declive e uma suavização do perfil após a ocorrência dos episódios de Janeiro e Maio, como seria previsível. Salienta-se que estas diferenças no declive da face da praia são superiores em Maio (Fig. 4).

A morfologia pré-evento de Janeiro caracterizava-se pela presença de uma barra submersa e ausência de berma de praia, enquanto em Maio foi observada a presença de várias barras longilitorais submersas associadas a crescentes de praia bem definidos que limitaram a resposta do perfil. As diferenças de declive entre Janeiro e Maio podem assim ser explicadas pela morfologia pré-existente e pela forma como esta condiciona a resposta do sistema a episódios de elevada energia hidrodinâmica.

O perfil da praia de Sta. Rita evoluiu até ao estado quasi dissipativo (Quadro 4) durante o evento de Janeiro, registando-se um decréscimo de  $\xi_b$ , indicador do aumento na quantidade de energia da onda dissipada ao longo do perfil imerso.

O evento de Maio não produziu diferenças tão acentuadas no parâmetro  $\Omega$  (Quadro 4), facto que é consistente com a menor variabilidade volumétrica registada nesta campanha (Fig. 3). É, no entanto, de salientar que a discrepância entre os valores de  $\xi_b$  pré e pós-evento (Quadro 4) é superior à do mês de Janeiro, confirmando as diferenças no declive da face da praia assinaladas na figura 4.

Exceptuando temporais mais energéticos e/ou de maior duração, pode assumir-se que a resposta máxima da



Figura 3 – Variabilidade volumétrica máxima, registada entre as campanhas pré e pós-eventos de Janeiro e Maio de 2006.

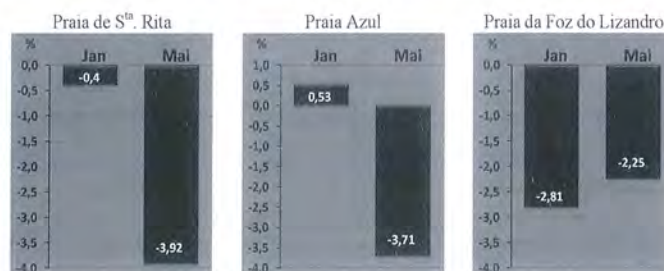


Figura 4 – Balanço no declive da face da praia, registado entre as campanhas pré e pós-eventos de Janeiro e Maio de 2006.

		(Praia de S <sup>ta</sup> Rita)	(Praia Azul)	(Praia da Foz do Lizandro)
Janeiro	Pré	2,0160 <i>Low tide terrace</i>	1,8833 <i>Low tide terrace</i>	2,0744 <i>Low tide terrace</i>
	Pós	5,4572 <i>Longshore bar-trough</i>	4,9205 <i>Longshore bar-trough</i>	5,8853 <i>Dissipative</i>
Maio	Pré	2,6716 <i>Low tide terrace</i>	2,4435 <i>Low tide terrace</i>	3,1307 <i>Transverse bar &amp; rip</i>
	Pós	4,1886 <i>Rhythmic bar &amp; beach</i>	3,3307 <i>Transverse bar &amp; rip</i>	5,1195 <i>Longshore bar - trough</i>

Quadro 4 – Parâmetro morfodinâmico adimensional. Classificação segundo Masselink & Hughes (2003).

		$b$ (Praia de S <sup>ta</sup> Rita)	$b$ (Praia Azul)	$b$ (Praia da Foz do Lizandro)
Janeiro	Pré	0,3864 <i>Spilling breaker</i>	0,3879 <i>Spilling breaker</i>	0,5472 <i>Surging breaker</i>
	Pós	0,2808 <i>Spilling breaker</i>	0,3373 <i>Spilling breaker</i>	0,2641 <i>Spilling breaker</i>
Maio	Pré	0,6470 <i>Surging breaker</i>	0,4656 <i>Surging breaker</i>	0,5409 <i>Spilling breaker</i>
	Pós	0,3480 <i>Spilling breaker</i>	0,1985 <i>Spilling breaker</i>	0,3510 <i>Spilling breaker</i>

Quadro 5 – Tipo de onda na rebentação. Classificação segundo Masselink & Hughes (2003).

praia de Sta. Rita a episódios de elevada energia hidrodinâmica corresponde ao estado morfodinâmico da coroa-sulco(longshore bar-trough), podendo considerar-se o estado morfodinâmico modal como praia com terraço de maré baixa (low tide terrace).

**Praia Azul:**

A dinâmica sedimentar registada durante o evento de Janeiro (504,5m<sup>3</sup>/m – Fig. 3) distinguiu se claramente dos valores obtidos em Maio (122,1m<sup>3</sup>/m – Fig. 3). Tal como no caso da praia de Sta. Rita, as diferenças no declive da face da praia após a ocorrência dos picos de Hs são superiores no evento de Maio (Fig. 4). No conjunto observou-se, durante a realização das campanhas, uma diminuição do número de barras submersas após a ocorrência dos episódios de Janeiro (pré-evento =1 barra / pós-evento =0 barra) e de Maio (pré-evento = 2 barras / pós-evento = 1 barra). Os valores de  $\xi b$  apontam para elevados níveis de dissipação energética ao longo do perfil (Quadro 5) e poderão ser responsáveis, em conjunto com a presença das barras longilitorais, pela reduzida variabilidade do perfil emerso deste sistema relativamente aos restantes (Fig. 3). Existe, no entanto, uma diferenciação entre os episódios de Janeiro e de Maio. Tal como no caso da praia da Sta. Rita, também na praia Azul existe uma correspondência clara entre as diferenças nos valores de  $\Omega$  pré e pós-eventos de Janeiro e Maio e a respectiva variabilidade volumétrica máxima (Fig. 3 e Quadro 4).

Exceptuando temporais mais energéticos e/ou de maior duração, a resposta máxima da praia Azul a episódios mais energéticos e o seu estado morfodinâmico modal são semelhantes aos registados na Praia de Sta. Rita (Quadro 4).

**Praia da Foz do Lizandro:**

O valor de  $\Omega$  indica que o comportamento morfodinâmico do sistema passou por todos os estados intermédios (Quadro 4), demonstrando a elevada variabilidade desta praia. Apresenta os valores mais elevados de variabilidade volumétrica máxima (Fig. 3) dos sistemas analisados (Janeiro = 1289,5m<sup>3</sup>/m; Maio = 1523,1m<sup>3</sup>/m), tendo sido o único sistema que atingiu o estado dissipativo ( $\Omega_{Jan} = 5,8853$  – Quadro 4). Considera se, assim, o estado dissipativo como

a resposta máxima a condições de elevada hidrodinâmica marinha, encontrando-se o comportamento modal do sistema por determinar devido à elevada variabilidade registada durante as campanhas.

No que respeita aos sedimentos das praias estudadas verificou-se que correspondem a areias médias a grosseiras na escala de Wentworth (0, 409mm - 0,642mm). A variação da dimensão dos grãos resultado da ocorrência de episódios de elevada hidrodinâmica foi reduzida, não ultrapassando 1 $\phi$ . Apesar da baixa variabilidade, constatou-se que a dimensão do grão médio diminuiu após a ocorrência dos eventos de Janeiro e de Maio de 2006 (Fig. 5). Assume-se que esta ligeira variação pode ser explicada a partir de alguns pressupostos de circulação sedimentar ao longo do perfil submerso das praias:

- a profundidade na qual as ondas iniciam a interacção com o fundo é variável e aumenta com a altura da onda;
- existe uma gradação das granulometrias no perfil de praia (imerso+emerso) que centra os grosseiros na faixa de rebentação, enquanto os finos tendem a depositar-se em direcção à linha de costa e em direcção ao limite da plataforma continental interna;
- na faixa de rebentação predomina a componente vertical do transporte de sedimentos, existindo uma selecção dos grãos que tende para o mais fino em direcção à superfície;
- na faixa de surf e, principalmente, na faixa de espraio domina a componente horizontal do transporte, com uma selecção dos materiais que tende para o mais fino em direcção à linha de costa.

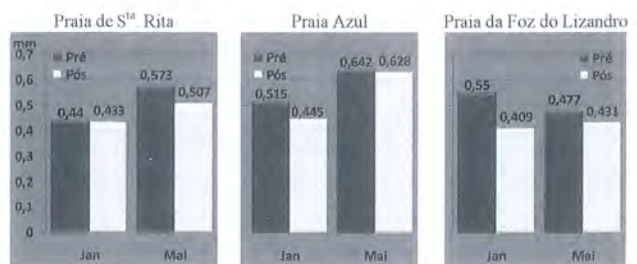


Figura 5 – Dimensão média dos grãos, registada entre as campanhas pré e pós-eventos de Janeiro e Maio de 2006.

O aumento da altura e comprimento das ondas desloca a profundidade de fecho e a linha de rebentação para o largo, onde se intensifica a interacção das ondas com o fundo, mobilizando verticalmente sedimentos mais finos quer em direcção à linha de costa quer para a deriva litoral. Tratando-se apenas de um episódio, onde os processos de transporte estão mais activos, os sedimentos pré-existentes mais característicos de condições medianas são impregnados com a componente mais fina, inicialmente mobilizada verticalmente na faixa de rebentação e posteriormente transportada horizontalmente nas faixas de surf e espraio. As recolhas efectuadas imediatamente após o episódio deixaram muito pouca margem para que o sistema recupere os seus valores granulométricos mais característicos.

#### 4. Conclusão

A variação no declive da face da praia após a ocorrência dos episódios de Janeiro e de Maio apresentou, predominantemente, valores negativos, já esperados, típicos de uma transição do perfil de praia intermédio para uma morfologia de carácter dissipativo, como resposta ao aumento da energia das ondas incidentes.

De acordo com a classificação de Masselink & Hughes (2003), baseada no parâmetro morfodinâmico adimensional (Wright & Short, 1984), os dados disponíveis revelam que os três sistemas apresentam estados morfodinâmicos entre o dissipativo e o intermédio, nunca chegando a atingir o perfil reflectivo.

A amplitude de variação entre  $\Omega$ pré-evento e  $\Omega$ pós-evento é destacadamente inferior em Maio nas praias de Sta. Rita e Azul (quadro 4). Na Foz do Lizandro, a menor diferença entre  $\Omega$ pré-evento e  $\Omega$ pós-evento é encontrada em Janeiro. Estes resultados são validados pelos dados da variabilidade volumétrica máxima (Fig. 3), sendo menor a variação nos volumes das praias de Sta. Rita e Azul após o evento de Maio, ao contrário do que sucede na praia da Foz do Lizandro.

A monitorização realizada antes e após os eventos de elevada energia hidrodinâmica de Janeiro e de Maio de 2006 e a classificação dos dados revela que o aumento na energia das ondas, indirectamente evidenciado pela  $H_s$  e  $T$  da onda, é responsável pela transição generalizada dos perfis de praia para uma morfologia de carácter próximo do dissipativo. Apesar de, no essencial, o tipo de evento energético registado na bóia ondógrafo de Leixões ser semelhante em Janeiro e em Maio, o comportamento morfodinâmico do perfil de praia de cada sistema é distinto e principalmente condicionado pela morfologia pré-episódio.

A parametrização de dados hidrodinâmicos, morfológicos e sedimentológicos recolhidos permitiu determinar o comportamento morfodinâmico modal dos sistemas de praia em Sta. Rita e na praia Azul como correspondendo tipicamente a um sistema de terraço de maré. Os mesmos dados revelaram que é necessária mais informação para caracterizar o comportamento morfodinâmico mais frequente na praia da Foz do Lizandro, que evidencia grande variabilidade. A resposta máxima das praias de Sta. Rita e Azul corresponde ao estado morfodinâmico de barra longitudinal. A praia da Foz do Lizandro atinge com relativa

facilidade o perfil dissipativo, representando este tipo de perfil à resposta máxima do sistema a episódios de elevada energia hidrodinâmica.

Os resultados demonstram o elevado potencial que as metodologias de monitorização utilizadas neste trabalho possuem na interpretação e previsão do comportamento dos sistemas de praia sob a influência de elevados níveis de energia hidrodinâmica.

#### Referências bibliográficas

- Anfuso, G. & Benavente, J., 2006. Approximation to the classification and morphodynamic behaviour of the beaches between Chipiona and Rota (Cádiz, SW Spain). *Ciencias Marinas* 32 (4), p. 605 – 616
- Baptista, P., 2006. O sistema de posicionamento global aplicado ao estudo de litorais arenosos. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 278p.
- Battjes, J., 1974. Surf similarity. *Proceedings of the 14th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, p. 466 – 480
- Benavente, J.; Del Río, L.; Anfuso, G.; Garcia, F. & Reyes, J., 2002. Utility of morphodynamic characterization in the prediction of beach damage by storms. *Journal of Coastal Research* SI36, ICS Proceedings, p. 56 – 64
- Benedet, L.; Finkl, C. & Klein, A., 2004. Morphodynamic classification of beaches on the Atlantic coast of Florida: geographical variability of beach types, beach safety and coastal hazards. *Journal of Coastal Research* SI39, *Proceedings of the 8th International Coastal Symposium*
- Benedet, L.; Finkl, C. Campbell, T. & Klein, A., 2004. Predicting the effect of beach nourishment and cross-shore sediment variation on beach morphodynamic assessment. *Coastal Engineering* 51, p.839 – 861
- Bettencourt, P. & Ângelo, C., 1992. Faixa costeira Centro-Oeste (Espinho-Nazaré): Enquadramento geomorfológico e evolução recente. *Geonovas* 1, Lisboa, p. 7 – 30
- Carvalho, F., 2004. Temporais no mar da região costeira de Portugal continental. In Alveirinho Dias, J. & Ferreira, Ó. (Eds.) *Methods for determining and representing coastal hazards*. Universidade do Algarve, p. 34 – 35
- Carvalho, M., 1992. Valores extremos de agitação marítima (Figueira da Foz). *Tratamento local dos dados existentes*. Rel. 13/92 – A, PO-WAVES, IH – LNEC: 108p.
- Costa, C., 1994. Wind wave climatology of the portuguese coast. Final report of sub-project A. Rel. 6/94 – A, PO-WAVES, IH – LNEC, 79p.
- Ferreira, Ó., 1998. Morfodinâmica de praias expostas: aplicação ao sector costeiro de Aveiro – Cabo Modogo. Dissertação de Doutoramento, Universidade do Algarve, 337p.
- Friedman, G. & Sanders, J., 1978. *Principles of sedimentology*. John Wiley & Sons. U.S.A., 792p.
- Goodfellow, B. & Stephenson, W., 2005. Beach morphodynamics in a strong-wind bay: a low-energy environment?. *Marine Geology* 214, p. 101 – 116
- Hallermeier, R. J., 1981a. Terminal settling velocity of commonly sand grains. *Sedimentology* 28, p.859 – 865
- Hallermeier, R. J., 1981b. Fall velocity of beach sands. *Coastal Engineering Technical Note*, CETN-B-4, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, 2p.
- Henriques, R., 2004. SEDMAC/SEDPC: An application to support particle size analysis of unconsolidated sediments. *32nd International Geological Congress, Abs. Vol. 1, abs. 154-6*, p.726
- Komar, P. & Gaughan, M., 1972. Airy wave theory and breaker height prediction. *Proceedings of the 13rd Conference on Coastal Engineering*, ASCE, p.405 – 418
- Larangeiro, S.; Oliveira, F. & Freire, P., 2002. Numerical characterization of the longshore sediment dynamics at Buarcos Beach, West coast of Portugal. *Littoral 2002, The changing coast*, EUROCOAST – EUCC, Porto, p. 369 – 374
- Masselink, G. & Hegge, B., 1995. Morphodynamics of meso- and macro-tidal beaches: examples from central Queensland, Australia. *Marine Geology* 129, p. 1 – 23
- Masselink, G. & Hughes, M., 2003. *Introduction to coastal processes and geomorphology*. Hodder Arnoldress, 354p.
- Munk, W., 1949. The solitary wave theory and its applications to surf problems. *Annals of the New York Academy of Science* nº51 (3), p. 376 – 424

- Neves, M., 2004. Evolução actual dos litorais rochosos da Estremadura Norte. Estudo de Geomorfologia. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 554p.
- Oliveira, I.; Valle, A. & Miranda, F., 1982. Littoral problems in the portuguese West coast. Coastal Engineering Proceedings, Vol. III, p.1950 – 1969
- Pires, H., 1989. Alguns aspectos do clima de agitação marítima de interesse para a navegação na costa de Portugal. O clima de Portugal Fasc. XXXVII, vol 2, INMG, Lisboa, 34p.
- Pires, H. & Carvalho, F., 1996. Fundamento e características do modelo de ondas de terceira geração MAR3G. Instituto de Meteorologia, Lisboa, 38p.
- Passega, R., 1957. Texture as characteristic of clastic deposition. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 41, p.1952 – 1974
- Ramos-Pereira, A., 1987. Aspectos da evolução do relevo de Portugal. Litoral entre a serra de Sintra e a praia de S. Julião (Ericeira). Finisterra XXII (44), p.423-434
- Ramos-Pereira, A., 1991. A margem continental portuguesa. Breve síntese do conhecimento actual. Finisterra 51, p. 149 – 185
- Ramos-Pereira, A., 1999. A importância do conhecimento do clima de agitação marítima na planificação de obras costeiras. O exemplo de Sines. In A. Ramos-Pereira, César Andrade, Maria Conceição Freitas, Mário Neves, Jorge Trindade, Anabela Cruces e Ana Maria Viegas (Eds.) Livro – Guia da visita de estudo ao litoral entre S. André e Vila Nova de Milfontes; EUROCOAST – Portugal
- Taborda, R., 1993. Modelação da dinâmica sedimentar induzida pela ondulação na plataforma continental portuguesa. Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa, 126p.
- Taborda, R. & Dias, J. A., 1992. Análise da Sobreelevação do Mar de Origem Meteorológica durante os Temporais de Fevereiro/Março de 1978 e Dezembro de 1981. Geonovas I, p.89-97
- Trindade, J.; Pereira, A. R.; Neves, M.; Borges, B. & Paixão, R., 2007. Monitorização da morfodinâmica de praias com dGPS e Estação Total. Comparação de resultados. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos Vol. V, p. 293 - 301
- Vidinha, J.; Andrade, C. & Teixeira, S., 1997. Análise morfológica do cordão dunar entre Espinho e o Cabo Mondego (Portugal). In. Colectânea de ideias sobre a zona costeira de Portugal, Associação EUROCOAST – Portugal, Porto, pp. 391 – 416
- Weishar, L. & Byrne, R., 1978. Maximum breaker height: Journal of Waterways, Harbours and Coastal Engineering Division, ASCE 98, p. 529 – 548
- Wright, L. & Short, A., 1984. Morphodynamic variability of beaches and surf zones, a synthesis. Marine Geology 56, p.92 – 118



ISBN 978-989-96462-0-9



90000 >

9 789899 646209