

## **ANÁLISE DE COTAS DE INUNDAÇÃO NA PRAIA DE VALE DO LOBO**

**Paulo D. RAPOSEIRO**

*Eng.º Ambiente, LNEC, Av. do Brasil, 1700-066 Lisboa, +351.21.8443912, praposeiro@lnec.pt*

**Maria T. REIS**

*Eng.ª Civil, LNEC, Av. do Brasil, 1700-066 Lisboa, +351.21.8443448, treis@lnec.pt*

**Conceição J.E.M. FORTES**

*Eng.ª Civil, LNEC, Av. do Brasil, 1700-066 Lisboa, +351.21.8443446, jfortes@lnec.pt*

**José C. FERREIRA**

*Geógrafo, UNL-FCT/DCEA & CENSE, Campus da Caparica, 2829-516 Monte de Caparica, jcrf@fct.unl.pt*

### **RESUMO**

Nesta comunicação, é efectuada a aplicação a troços da praia de Vale do Lobo, situada no Concelho de Loulé, da metodologia desenvolvida no LNEC para cálculo de cotas de inundação. A caracterização dos troços de praia foi efectuada recorrendo aos levantamentos de perfis de praia apresentados em TEIXEIRA (2009).

Assim, o estudo iniciou-se pela caracterização da agitação marítima na zona em estudo, recorrendo a dados de agitação medidos pelo Instituto Hidrográfico com a bóia-ondógrafo direccional de Faro, durante o período de 1986 a 1995. Após a caracterização na zona da bóia, esses dados foram transferidos para junto da praia de Vale do Lobo considerando um nível da água do mar de +4.64 m (ZH) e recorrendo ao modelo de propagação de ondas SWAN, inserido no sistema GUIOMAR, que é um sistema de modelação da agitação marítima em zonas portuárias e costeiras desenvolvido em ambiente SIG.

Com base nas condições de agitação marítima na bóia e junto à praia, o espraçamento na praia foi estimado através de quatro formulações empíricas baseadas em medições de campo ou em ensaios em modelo físico reduzido. Foram obtidos, ao longo dos anos de 1986 a 1995, os valores do espraçamento máximo, assim como os correspondentes valores das cotas de inundação. Efectuou-se uma análise comparativa entre estes resultados de modo a avaliar o desempenho de cada formulação e a realizar a sua validação.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Praia de Vale do Lobo, Cotas de inundação, Espraçamento, Fórmulas empíricas, Modelação numérica

## 1 INTRODUÇÃO

A determinação de cotas de inundação e/ou de galgamentos de estruturas marítimas em zonas costeiras e portuárias é um assunto de elevada importância para a avaliação do risco de inundações. Este é um assunto premente em Portugal, dada a extensão da sua costa, a concentração da população e das actividades económicas na zona costeira e a severidade do seu clima de agitação marítima.

Com efeito, são frequentes as situações de emergência provocadas pelo estado do mar, que põem em causa a segurança de pessoas e bens, com consequências graves para a economia e o ambiente, e para a sociedade. Assim, torna-se clara a necessidade de um conhecimento prévio da agitação marítima e dos níveis de água do mar no local em estudo, para prever e mapear situações de risco e para emitir atempadamente alertas, o que permitirá minimizar a perda de vidas e reduzir prejuízos económicos e ambientais.

Nesse sentido, no LNEC tem vindo a ser desenvolvida e aplicada uma metodologia que efectua o cálculo do espraiamento e das respectivas cotas de inundação numa dada zona em estudo com recurso a fórmulas empíricas (RAPOSEIRO *et al.*, 2009a,b,c). Esta metodologia consiste em:

- Propagar com o modelo SWAN (BOOIJ *et al.*, 1999) um conjunto de ondas seleccionadas do regime de agitação ao largo até junto ao local de estudo;
- Calcular o espraiamento em secções pré-definidas da zona em estudo utilizando as fórmulas empíricas de:
  - perfis de praia: NIELSEN & HANSLOW (1991), baseadas em dados de campo para praias naturais, e de Mase *et al.* (2003), baseadas em ensaios em modelo físico reduzido de taludes impermeáveis;
  - estruturas de enrocamento: TAW (2002) e VAN DER MEER & STAM (1992), baseadas em ensaios em modelo físico reduzido.
- Determinar as cotas de inundação e avaliar as áreas de inundação.

Esta metodologia já foi aplicada à praia de Vale do Lobo, concelho de Loulé (RAPOSEIRO *et al.*, 2009a,b,c) tendo sido determinadas as cotas de inundação ao longo de dois perfis diferentes da praia (com e sem estrutura de protecção) para condições de agitação marítima correspondentes ao ano de 1991 e para níveis de mar de +2.5 m (ZH) e de +4.64 m (ZH). Nestes trabalhos, as características desses perfis de praia foram baseadas num único levantamento de campo realizado em Agosto de 2009 pelo primeiro autor deste trabalho e o período de condições de agitação marítima considerado referia-se apenas a um ano de dados. Por outro lado, não foi efectuada qualquer comparação com outros estudos para validar a metodologia utilizada. São, pois estes três aspectos que são analisados na presente comunicação.

Em relação ao período de condições de agitação marítima, dispõe-se agora de um conjunto de registos da bóia-ondógrafo de Faro correspondentes ao período de 1986 a 1995 (cerca de 9 anos).

No que diz respeito às características dos perfis de praia e à validação da metodologia utilizada, foi recentemente publicado o trabalho de TEIXEIRA (2009) que envolveu vários levantamentos de perfis de praia ao longo da linha de costa algarvia (inclusive a praia de Vale do Lobo), obtidos ao longo de 13 anos e em diferentes alturas do ano, dispondo-se assim de um conjunto de dados de campo muito valioso. Esse trabalho teve como objectivo principal contribuir para a definição da linha da máxima preia-mar de águas vivas equinociais (LMPMAVE) no litoral sul do Algarve. Para tal, foram efectuadas medições de campo da cota da linha de maré impressa no areal na preia-mar que ocorreu imediatamente antes da execução do perfil de praia. Estas medições permitiram o cálculo do valor máximo de espraiamento,  $R_{max}$ , através da diferença entre a cota medida e a cota da preia-mar prevista nas Tabelas de Marés publicadas pelo Instituto Hidrográfico. Os dados de campo permitiram ainda ao autor desenvolver uma fórmula empírica

para o cálculo de  $R_{max}$ , aqui designada por fórmula de TEIXEIRA (2009).  $R_{max}$  foi também estimado recorrendo à fórmula empírica de MASE (1989).

O cálculo de  $R_{max}$  através das fórmulas empíricas teve como base as condições médias de agitação do mar, mais concretamente os valores da altura significativa e do período de pico médios anuais publicados por COSTA *et al.* (2001) para o largo de Faro, e um nível de maré de +4.0 m (ZH), que corresponde à cota da máxima preia-mar de águas vivas equinociais (MPMAVE), considerada constante ao longo da frente de mar do litoral sul do Algarve. A transposição das características da agitação registada na bóia (altura significativa, HS e período máximo, Tmax) para as condições ao largo de cada praia no momento da preia-mar foi feita tendo em consideração o rumo e a celeridade da agitação (calculada a partir do valor de Tmax registado na bóia) e a distância entre a bóia e um ponto ao largo de cada praia (considerado na batimétrica -20 m (ZH)). Para o cálculo da LMPMAVE, foi somado ao nível de maré de +4.0 m (ZH) o valor de  $R_{max}$  obtido.

Face ao exposto, julgou-se interessante efectuar uma aplicação da metodologia de Raposeiro *et al.* (2009a,b,c) para um troço da praia de Vale do Lobo sem estruturas de protecção, considerando:

- um nível de mar de +4.64 m (ZH);
- uma série de 9 anos (1986 a 1995) de dados de agitação marítima obtidos na bóia-ondógrafo de Faro;
- os perfis de praia de Vale do Lobo apresentados em TEIXEIRA (2009), e mais concretamente os perfis correspondentes aos valores médios da inclinação da face da praia medidos por TEIXEIRA (2009);
- quatro fórmulas empíricas: duas já utilizadas em RAPOSEIRO *et al.* (2009a,b) - NIELSEN & HANSLOW (1991) e MASE *et al.* (2003) - e duas utilizadas por TEIXEIRA (2009): MASE (1989) e TEIXEIRA (2009).

Com os resultados obtidos, efectuaram-se os seguintes testes:

- Teste 1 – Comparação de resultados de  $R_{max}$  obtidos através das fórmulas de MASE (1989), NIELSEN & HANSLOW (1991) e TEIXEIRA (2009), com base em condições de agitação ao largo e para ângulos médios dos perfis de praia;
- Teste 2 – Comparação de resultados de  $R_{max}$  obtidos através das fórmulas de MASE *et al.* (2003), com e sem o ângulo de incidência da agitação junto à costa, e de TEIXEIRA (2009), para ângulos médios dos perfis de praia. A primeira formulação utiliza dados de agitação junto à costa enquanto que a última utiliza dados ao largo.

Pretende-se assim avaliar as potencialidades e limitações da metodologia de RAPOSEIRO *et al.* (2009a,b,c).

Nas secções seguintes, descreve-se primeiramente (secção 2) a zona em estudo, a praia de Vale do Lobo. Na secção 3, analisam-se os dados da bóia-ondógrafo de Faro entre os anos de 1986 e 1995 e caracteriza-se a agitação marítima na praia de Vale do Lobo nesse período. Na secção 4, apresentam-se os cálculos referentes ao espraiamento e respectivas cotas de inundação da zona costeira. Por fim, a secção 5 contém as conclusões do trabalho realizado e o trabalho previsto para o futuro.

## 2 CASO DE ESTUDO

A praia de Vale do Lobo situa-se no Concelho de Loulé, na região do Algarve (Figura 1). Com uma extensão em areal de 2 km, é uma praia de origem sedimentar, tendo as suas arribas um perfil com uma forte tendência anual para manter uma certa verticalidade. Apesar de talhadas em formações arenosas de idade Plio-pleistocénicas, são constituídas essencialmente por areias de grão médio a grosseiro subarcólicas e envolvidas num suporte matricial argiloso (MOURA & BOSKI, 1999).



Figura 1 - Localização da Praia de Vale do Lobo.

Vale do Lobo é uma praia afectada por uma forte expansão urbana litoral com prejuízos ambientais e financeiros, particularmente a zona da Ria Formosa e do empreendimento turístico de Vale do Lobo. Como causas apontam-se os chamados factores antrópicos, tal como o aumento da construção no topo das arribas e a erosão costeira. Com efeito, existem habitações muito perto das arribas, praias de acesso condicionado pelo perigo de derrocada e a própria Ria Formosa corre riscos sob a ameaça do cordão dunar.

Da Figura 2 à Figura 5 apresentam-se alguns exemplos de troços característicos da praia de Vale do Lobo.



Figura 2 – Praia de Vale do Lobo. Visão geral (fotografia cedida por EPRL / IGP).



Figura 3 – Praia de Vale do Lobo. Zona da Piscina (fotografia cedida por EPRL / IGP).



Figura 4 – Praia de Vale do Lobo. Zona com apoios de praia (fotografia cedida por EPRL / IGP).



Figura 5 – Praia de Vale do Lobo. Zona de arriba (fotografia cedida por EPRL / IGP).

### 3 AGITAÇÃO MARÍTIMA

#### 3.1 Metodologia

Para o cálculo do espraiamento e cotas de inundação na praia de Vale do Lobo, é necessário caracterizar as condições de agitação marítima ao largo ou junto à costa. Para esta caracterização, recorreu-se à metodologia utilizada em RAPOSEIRO *et al.* (2009a,b,c) e que consiste resumidamente:

- Utilização dos dados de agitação marítima ao largo medidos pelo Instituto Hidrográfico em Faro com a bóia-ondógrafo direccional WAVERIDER e receptor WAREC. A bóia encontra-se localizada na batimétrica -93 m (ZH), sendo a sua posição de 36° 54' 17" N, 07° 53' 54" W. Em condições normais, a aquisição dos dados é efectuada de 3 em 3 horas durante períodos de 30 minutos. Em condições de temporal, ou seja, quando a altura significativa excede 3 m, os períodos de aquisição são apenas espaçados de 10 minutos. O período de registos considerado neste trabalho corresponde à série dos anos de 1986 a 1995;
- Transferência dos dados para junto à costa com o modelo de geração, propagação e dissipação da agitação marítima SWAN (BOOIJ *et al.*, 1999), através de uma interface desenvolvida para este modelo no sistema de modelação da agitação marítima GUIOMAR (NEVES *et al.*, 2009). Neste trabalho, a transferência foi efectuada considerando um nível de mar de +4.64 m (ZH);
- Estabelecimento das características da agitação marítima em 16 pontos ao longo de 3 perfis transversais à praia utilizando o programa REGIMES/SOPRO (PINHEIRO *et al.*, 2006).

Nas secções seguintes apresentam-se os regimes ao largo e junto à praia de Vale do Lobo.

#### 3.2 Regime de agitação marítima ao largo

Nos registos da bóia-ondógrafo de Faro, indicam-se para além do grupo data-hora, várias grandezas relacionadas com as características da onda e, em particular, os valores de altura de onda significativa (HS), período de zero ascendente (TZ) e direcção de onda (DIR). É de salientar que se verifica a existência de algumas falhas de registos ao longo dos anos de 1986 a 1995.

Com base nos registos destes anos, apresentam-se da Figura 6 à Figura 8 as séries temporais dos valores de HS, TZ e DIR.

Na Figura 9 a), b) e c) apresentam-se as relações HS-TZ, HS-DIR e TZ-DIR na bóia-ondógrafo de Faro para os anos de 1986 a 1995, respectivamente.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos valores mínimos, médios e máximos dos parâmetros de HS, TZ e DIR e correspondente gama mais frequente.

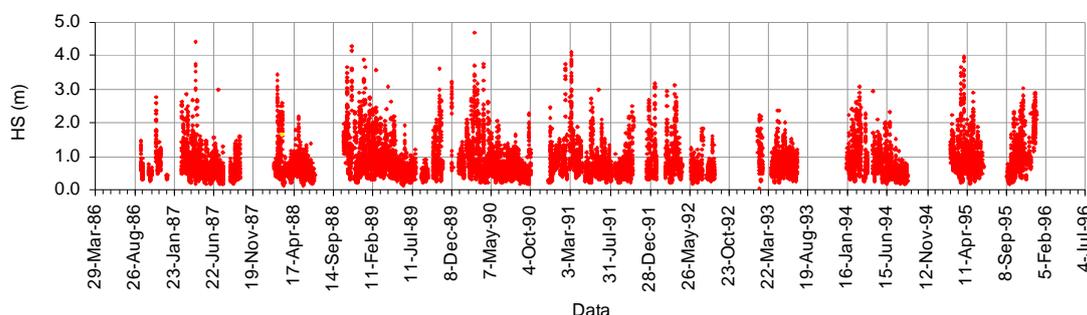


Figura 6 - Séries temporais da altura de onda significativa na bóia-ondógrafo de Faro para os anos de 1986 a 1995.

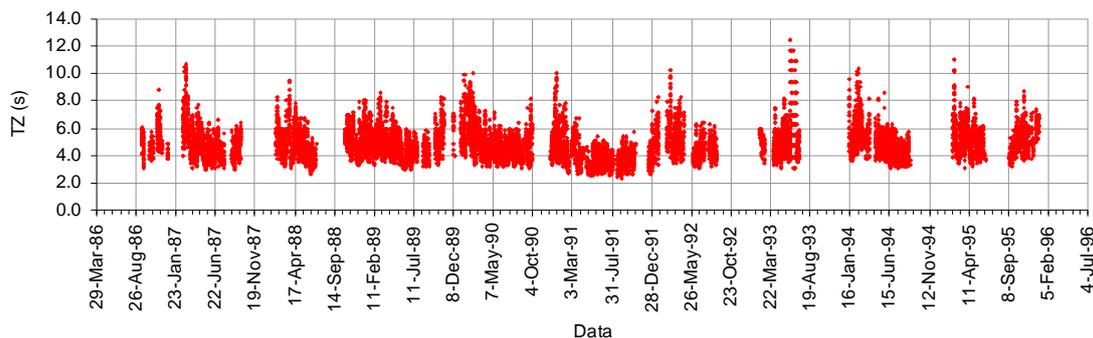


Figura 7 - Séries temporais do período de zero ascendente na bóia-ondógrafo de Faro para os anos de 1986 a 1995.

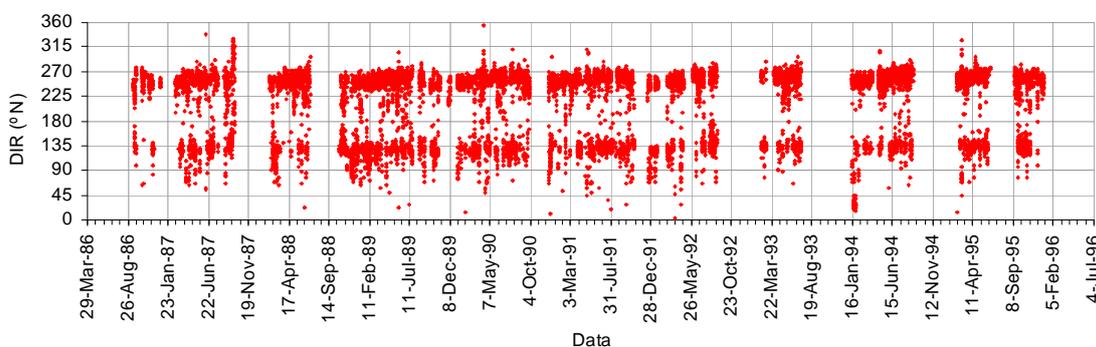


Figura 8 - Séries temporais da direcção da onda na bóia-ondógrafo de Faro para os anos de 1986 a 1995.

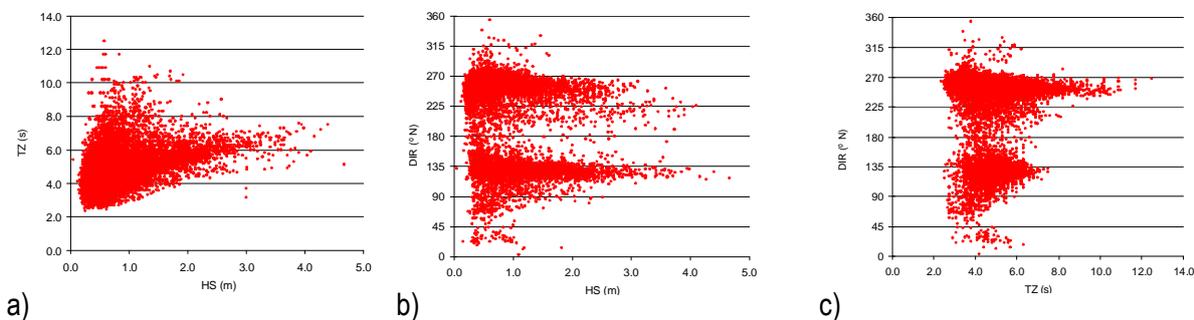


Figura 9 – Relações HS-TZ, HS-DIR e TZ-DIR na bóia-ondógrafo de Faro para os anos de 1986 a 1995.

Tabela 1 – Valores mínimos, médios e máximos e gama mais frequente registados de HS, TZ e DIR na bóia-ondógrafo de Faro para os anos de 1986 a 1995.

Parâmetros	Mínimo	Médio	Máximo	Gama mais frequente
HS (m)	0.05	0.85	4.70	[0.5-1.0]
TZ (s)	2.4	4.8	12.5	[3.0-4.0]
DIR (º N)	3	215	354	[120-140] – [250-270]

Com base na análise das figuras acima e da Tabela 1 verifica-se que na bóia de Faro:

- as alturas de onda significativas variam entre 0.05 m e 4.7 m, sendo o intervalo de 0.5 m a 1.0 m

- aquele para o qual se verificou o maior número de ocorrências;
- os períodos de zero ascendente variam entre 2.4 s e 12.5 s, sendo os valores no intervalo de 3.0 s a 4.0 s os mais frequentes;
- as direcções espectrais médias estão compreendidas entre 3° e 354°, sendo as direcções mais frequentes provenientes dos sectores entre os 120° a 140° e 250° a 270°. Na gama de 250° a 270° verificou-se o maior número de ocorrências.

### 3.3 Caracterização da agitação marítima na praia de Vale do Lobo

A transferência dos dados de agitação marítima na bóia de Faro para junto à costa foi efectuada com o modelo de geração, propagação e dissipação da agitação marítima SWAN (BOOIJ *et al.*, 1999), através de uma interface desenvolvida para este modelo no sistema de modelação de agitação marítima GUIOMAR (NEVES *et al.*, 2009) e com o módulo REGIMES/SOPRO (PINHEIRO *et al.*, 2006). Foram efectuados cálculos considerando um nível de mar de +4.64 m (ZH), que resulta da soma do valor da preia-mar máxima em Lagos em 2009 (obtido nas Tabelas de Marés publicadas pelo Instituto Hidrográfico) com um valor para ter em linha de conta a sobrelevação meteorológica do nível do mar com um período de retorno de 100 anos (valor baseado em estudos levados a cabo no âmbito do Projecto SIAM II, SANTOS *et al.*, 2002).

Estabeleceram-se as características da agitação marítima em 16 pontos ao longo de 3 perfis tipo transversais à praia: os perfis A1, A2 e A3 (Tabela 2 e Figura 10).

Para exemplificar os cálculos de espraiamento e cotas de inundação, apenas foram considerados os resultados nos Pontos 6 (Perfil A1) e 9 (Perfil A2), localizados antes da rebentação se iniciar (Figura 10).

Ponto	X	Y	Z
1	204490	8370	10.01
2	204490	9330	5.09
3	204490	9770	3.02
4	204810	8170	10.09
5	204810	9010	5.04
6	204810	9490	3.00
7	205330	7810	10.05
8	205330	8690	5.04
9	205330	9010	3.02
10	204490	10250	1.04
11	204490	10370	0.54
12	204810	9930	1.06
13	204810	10050	0.55
14	205330	9450	1.08
15	205330	9570	0.55
16	204490	10450	0.20

Tabela 2 - Coordenadas dos 16 pontos de amostragem.



Figura 10 - Localização dos 16 pontos de amostragem e dos 3 perfis transversais à praia.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos valores mínimos, médios e máximos nos Pontos 6 e 9 (localizados na batimétrica -3.0 m (ZH)) dos parâmetros de HS, TP e DIR e correspondente gama mais frequente, em que TP é o período de pico do espectro.

Da Figura 11 à Figura 12 apresentam-se as séries temporais obtidas dos valores de HS nos Pontos 6 e 9 e sua comparação com os valores na bóia-ondógrafo de Faro.

Tabela 3 – Valores mínimos, médios e máximos e gamas mais frequentes de HS, TP e DIR nos Pontos 6 e 9 para o nível de mar de +4.64 m (ZH) entre 1986 e 1995.

Parâmetros		Mínimo	Médio	Máximo	Gama mais frequente
Ponto 6	HS (m)	0.03	0.72	3.42	[0.5-1.0]
	TP (s)	4.1	6.3	16.1	[4.0-5.0]
	DIR (º N)	140	224	278	[160-170] - [240-270]
Ponto 9	HS (m)	0.03	0.72	3.47	[0.5-1.0]
	TP (s)	4.1	6.3	16.1	[4.0-5.0]
	DIR (º N)	136	222	288	[160-170] - [240-260]

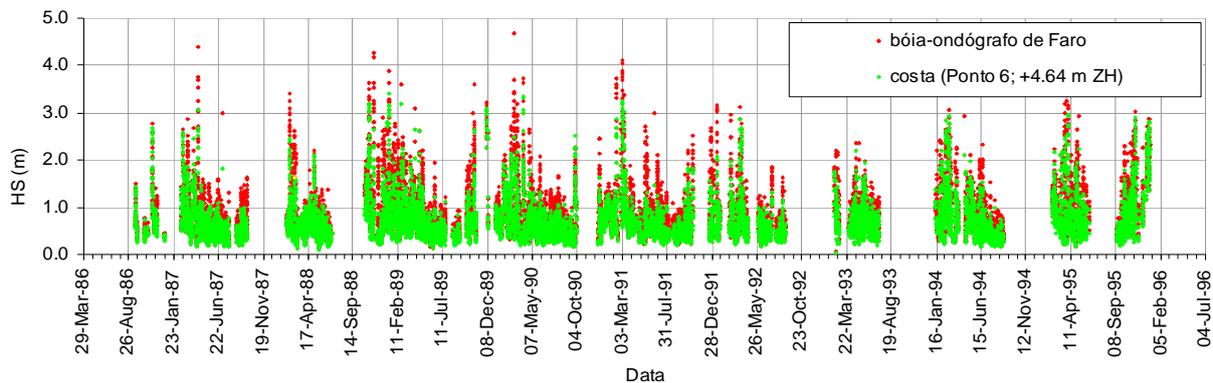


Figura 11 – Séries temporais da altura de onda significativa na bóia-ondógrafo de Faro e junto à costa (Ponto 6) entre o ano de 1986 e 1995.

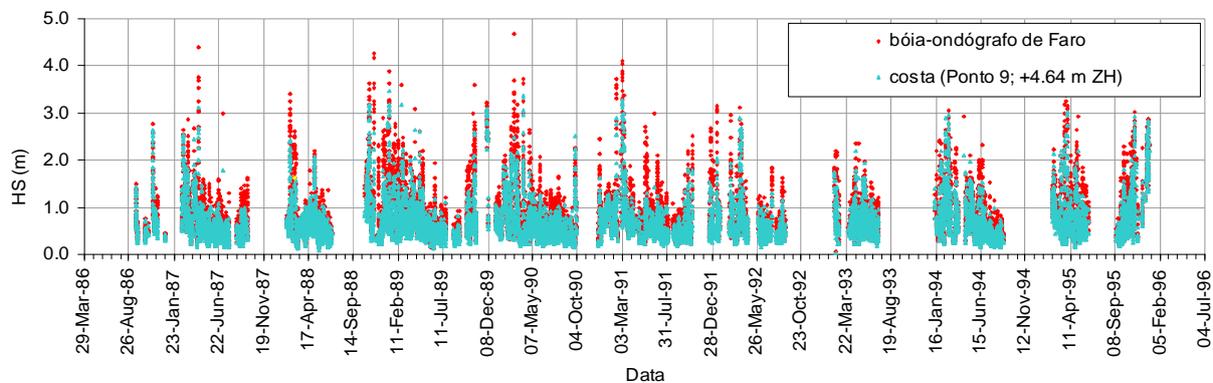


Figura 12 – Séries temporais da altura de onda significativa na bóia-ondógrafo de Faro e junto à costa (Ponto 9) entre o ano de 1986 e 1995.

Verifica-se que as condições de agitação marítima nos Pontos 6 e 9 têm variações significativas face às condições iniciais na bóia-ondógrafo. Estes resultados eram esperados, visto os pontos se encontrarem perto da costa. Apenas algumas direcções chegam à costa, devido à refacção. Com efeito verifica-se que, nos Pontos 6 e 9, para uma propagação da agitação marítima efectuada com um nível de mar de +4.64 m (ZH):

- as alturas de onda significativas, que na bóia variavam entre 0.05 m e 4.70 m, variam entre 0.03 m e 3.42 m para o Ponto 6 e 0.03 m e 3.47 m para o Ponto 9;

- os períodos de pico para os dois pontos variam entre 4.1 s e 16.1 s, sendo o intervalo mais frequente entre 4.0 s e 5.0 s;
- as direcções espectrais médias, que na bóia variavam entre 3° e 354°, variam no Ponto 6 entre 140° e 278°, tendo-se verificado o maior número de ocorrências na gama de 240° a 270°. No Ponto 9 variam entre 136° e 288°, sendo a gama mais frequente entre 240° e 260°. Note-se que direcções superiores a 270° e inferiores a 180° na bóia não atingiram a costa, dada a configuração dos fundos e da própria costa. Além disso, tal como era de esperar, verificou-se que na sua propagação desde a bóia até aos Pontos 6 e 9, a direcção da onda roda no sentido de se orientar perpendicularmente à batimetria.

## 4 ANÁLISE DO ESPRAIAMENTO NA PRAIA DE VALE DO LOBO

### 4.1 Metodologia

O cálculo expedito do espraçamento em praias é usualmente efectuado utilizando essencialmente formulações empíricas, baseadas em medições de campo ou em ensaios em modelo físico reduzido bidimensional de taludes (praias) constantes, lisos e impermeáveis (USACE, 2003). Nos trabalhos anteriores de RAPOSEIRO *et al.* (2009a,b,c), o espraçamento na praia de Vale do Lobo tem sido estimado aplicando as fórmulas propostas por NIELSEN & HANSLOW (1991) e por MASE *et al.* (2003), desenvolvidas com base em dados de campo e em ensaios, respectivamente. No presente trabalho consideraram-se também as fórmulas apresentadas em TEIXEIRA (2009), i.e. a fórmula de MASE (1989) e a fórmula de TEIXEIRA (2009), desenvolvida com base em dados de campo recolhidos especificamente para a área de estudo considerada neste trabalho.

Para uma dada condição de agitação (altura de onda, período e direcção) no período de 1986 a 1995 na bóia-ondógrafo de Faro ou junto à costa (Perfil A1, Ponto 6 e Perfil A2, Ponto 9), são aplicadas as fórmulas referidas e obtêm-se as estimativas dos valores do espraçamento máximo assim como os correspondentes valores das cotas de inundação. Esta aplicação das fórmulas é efectuada através de programas desenvolvidos em FORTRAN (FORTES *et al.*, 2009, 2010).

Note-se que cada fórmula foi aplicada para os valores médios da inclinação da face da praia onde se processa o espraço, correspondentes aos valores dos ângulos médios dos perfis medidos por TEIXEIRA (2009). Os perfis resultantes de um único levantamento efectuado pelo primeiro autor deste trabalho em Agosto de 2009 encontravam-se fora da gama de perfis obtida por TEIXEIRA (2009) e como tal não foram aqui considerados.

De modo a analisar as diferenças entre os espraçamentos máximos resultantes da aplicação das várias fórmulas e a proceder à sua validação por comparação com a formulação de TEIXEIRA (2009), efectuaram-se os seguintes testes:

- Teste 1 – Comparação de resultados de  $R_{max}$  obtidos através das fórmulas de MASE (1989), NIELSEN & HANSLOW (1991) e TEIXEIRA (2009), com base em condições de agitação ao largo e para ângulos médios dos perfis de praia (6.0° para o Perfil A1 e 6.4° para o Perfil A2);
- Teste 2 – Comparação de resultados de  $R_{max}$  obtidos através das fórmulas de MASE *et al.* (2003), com e sem o respectivo ângulo de incidência da agitação junto à costa, e de TEIXEIRA (2009), para ângulos médios dos perfis de praia (6.0° para o Perfil A1 e 6.4° para o Perfil A2). A primeira formulação utiliza dados de agitação junto à costa enquanto que a última utiliza dados ao largo.

Nas secções seguintes, apresenta-se sucintamente a metodologia baseada nas fórmulas de MASE (1989) e de TEIXEIRA (2009). A metodologia associada às restantes fórmulas pode ser consultada em RAPOSEIRO *et al.* (2009a,b,c). Em seguida, descrevem-se os testes efectuados e apresentam-se e

analisam-se os resultados obtidos. Por questões de falta de espaço, os resultados de  $R_{max}$  aqui apresentados referem-se apenas ao Perfil A1.

#### 4.1.1 Cálculo do espraçamento segundo MASE (1989)

Segundo MASE (1989), o valor do espraçamento máximo,  $R_{max}$ , num talude impermeável calcula-se da seguinte forma:

$$R_{max} = 2.32H_o\xi_{op}^{0.77} \quad (1)$$

em que:

$$\xi_{op} = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{H_o/Lop}} \quad (2)$$

$H_o$  - altura de onda significativa ao largo; (m)

$\alpha$  - ângulo da face da praia com a horizontal; (rad)

$Lop$  - comprimento de onda ao largo, associado ao período de pico do espectro ao largo,  $Lop = gT_p^2 / 2\pi$ ; (m)

$g$  - aceleração da gravidade. (m/s<sup>2</sup>)

A Eq. (1) é válida para as seguintes condições: a) taludes constantes, lisos e impermeáveis, com declives 1:5, 1:10, 1:20 e 1:30; e b)  $H_o/Lop \geq 0.007$ .

#### 4.1.2 Cálculo do espraçamento segundo TEIXEIRA (2009)

Segundo TEIXEIRA (2009), o valor de  $R_{max}$  nas praias do litoral sul do Algarve é calculado da seguinte forma:

$$R_{max} = 1.08H_o\xi_{omax} \quad (3)$$

em que;

$$\xi_{omax} = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{H_o/Lomax}} \quad (4)$$

$Lomax$  - comprimento de onda ao largo, associado ao período máximo,  $T_{max}$ :  $Lomax = gT_{max}^2 / 2\pi$ ; (m)

A Eq. (3) é válida para as seguintes condições:

- $1.6 \leq \alpha \leq 10.8^\circ$
- $0.3 \leq H_o \leq 3.0m$
- $4 \leq T_{max} \leq 16s$
- $0.2 \leq H_o\xi_{omax} \leq 4.2m$ , aproximadamente.

## 4.2 Resultados

### 4.2.1 Teste 1

No Teste 1, foram aplicadas as fórmulas de NIELSEN & HANSLOW (1991), MASE (1989) e TEIXEIRA (2009) para as condições de agitação marítima obtidas ao largo, de 1986 a 1995, para o Perfil A1. Pretende-se avaliar as diferenças em  $R_{max}$  resultantes da utilização de diferentes formulações e sua validação por comparação com a formulação de TEIXEIRA (2009). Note-se que para a formulação de NIELSEN & HANSLOW (1991), considerou-se que  $R_{max} = R1\%$ , em que  $R1\%$  é o espraçamento excedido apenas por 1% de todos os espraçamentos.

Apresentam-se na Figura 13 os valores de  $R_{max}$  obtidos para a série de dados de agitação entre Janeiro e Junho de 1989, uma vez que as conclusões referentes ao período de 1986 a 1995 são

semelhantes às conclusões para este período.

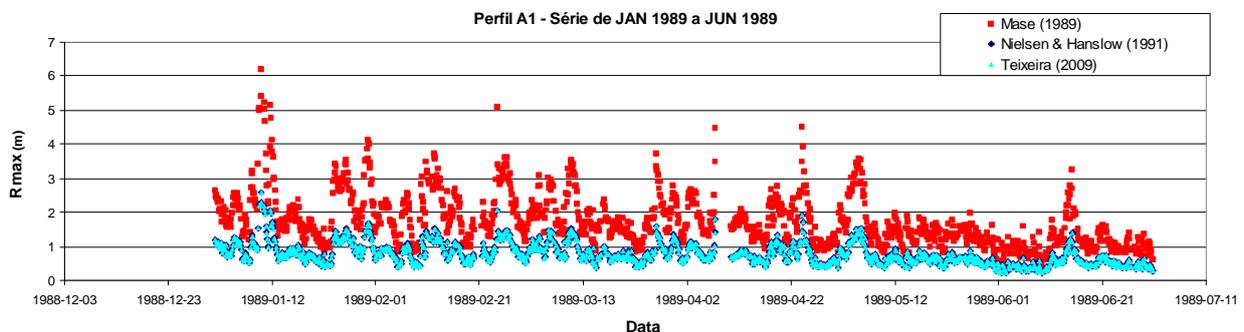


Figura 13 – Valores do máximo espalhamento,  $R_{max}$ , obtidos no Perfil A1 para o período entre Janeiro e Junho de 1989, através das fórmulas de MASE (1989), NIELSEN & HANSLOW (1991) e TEIXEIRA (2009) para as condições de agitação marítima ao largo.

Para o período de 1986 a 1995, os valores de  $R_{max}$  variam aproximadamente entre 0.33 m e 6.60 m para MASE (1989), entre 0.20 m e 2.71 m para NIELSEN & HANSLOW (1991) e entre 0.20 m e 2.70 m para TEIXEIRA (2009). Note-se que tendo em conta as condições de aplicabilidade das várias metodologias, a de MASE (1989) não é aplicável em 13.9% dos casos para este período de tempo e as de NIELSEN & HANSLOW (1991) e de TEIXEIRA (2009) em 9.8%.

Tal como já referido por outros autores (e.g. USACE, 2003; TEIXEIRA, 2009), também neste trabalho os resultados da metodologia de MASE (1989) são sempre superiores aos resultados das metodologias de NIELSEN & HANSLOW (1991). Tal é devido essencialmente ao facto das fórmulas de MASE (1989) se basearem em ensaios em modelo físico reduzido envolvendo taludes impermeáveis, enquanto que a formulação de NIELSEN & HANSLOW (1991) foi desenvolvida com base em dados de campo (praias naturais). A relação entre os valores de  $R_{max}$  segundo MASE (1989) e os valores de NIELSEN & HANSLOW (1991) varia entre  $1.57 < R_{max_{Mase}}/R_{max_{N\&H}} < 2.85$ . A relação entre os valores de  $R_{max}$  segundo MASE (1989) e os valores de TEIXEIRA (2009) varia entre  $1.58 < R_{max_{Mase}}/R_{max_{Teixeira}} < 2.86$ . Os resultados obtidos com a metodologia de NIELSEN & HANSLOW (1991) são muito semelhantes aos resultados obtidos com a metodologia de TEIXEIRA (2009): são superiores apenas em aproximadamente 0.4%.

#### 4.2.2 Teste 2

Ao contrário da formulação de MASE (1989), a formulação de MASE *et al.* (2003), permite entrar em linha de conta com as condições de agitação marítima junto à costa. Assim, com o intuito de verificar se a consideração das condições de agitação marítima junto à costa resultam num melhoramento significativo do ajuste com os resultados de TEIXEIRA (2009), no Teste 2, foram aplicadas para o Perfil A1 as fórmulas de MASE *et al.* (2003), para condições de agitação marítima na costa no Ponto 6, e de TEIXEIRA (2009) para as condições ao largo. Para a formulação de MASE *et al.* (2003), consideraram-se os valores do espalhamento obtido sem e com a consideração da direcção da onda junto à costa. Considerou-se ainda que  $R_{max}=R1\%$ .

Apresentam-se na Figura 14 os valores de  $R_{max}$  obtidos para a série de dados de agitação entre Janeiro de 1989 e Junho de 1989, uma vez que as conclusões referentes ao período de 1986 a 1995 são semelhantes às conclusões para este período.

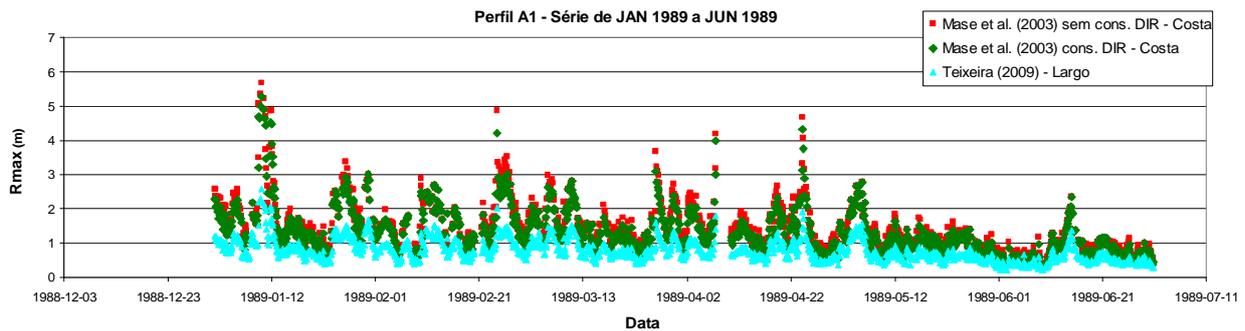


Figura 14 – Valores do máximo espraioamento,  $R_{max}$ , obtidos no Perfil A1 para o período entre Janeiro e Junho 1989, através das fórmulas de MASE *et al.* (2003) para condições de agitação marítima na costa (Ponto 6), com e sem consideração da direcção da agitação no Ponto 6, e de TEIXEIRA (2009) para as condições ao largo.

Para o período de 1986 a 1995, os valores de  $R_{max}$  obtidos através de MASE *et al.* (2003) variam aproximadamente entre 0.10 m e 5.89 m considerando uma incidência das ondas normal à praia ( $R_{max_{Mase_{normal}}}$ ) e entre 0.10 m e 5.39 m considerando a direcção da onda no Ponto 6 ( $R_{max_{Mase_{DIRP6}}}$ ). Note-se que as fórmulas de MASE *et al.* (2003) não são aplicáveis em 13.5% dos casos para este período de tempo. Tal como seria de esperar segundo o método de TAW (2002), uma vez que o valor absoluto dos ângulos de incidência das ondas no Ponto 6 com a normal ao Perfil A1 ( $|DIR-180^\circ|$ ) varia entre  $0.02^\circ$  e  $98^\circ$ ,  $0.824 \leq R_{max_{DIRP6}}/R_{max_{normal}} \leq 1.0$ .

Da comparação entre os valores de  $R_{max}$  obtidos através das metodologias de MASE *et al.* (2003), com e sem consideração da incidência do ângulo da onda junto à costa (Ponto 6), e de TEIXEIRA (2009), utilizando as condições de agitação marítima na bóia-ondógrafo, pode concluir-se que:

- Quer se considere o ângulo de incidência da agitação no Ponto 6, quer não, na grande maioria dos casos (aproximadamente 99.9%), os valores de  $R_{max}$  segundo MASE *et al.* (2003) são superiores aos valores obtidos segundo Teixeira (2009). Mais ainda, é interessante verificar que sempre que a superioridade de MASE *et al.* (2003) relativamente a TEIXEIRA (2009) não ocorre, as condições de aplicabilidade de MASE *et al.* (2003) não se verificam;
- A relação entre os valores de  $R_{max}$  segundo MASE *et al.* (2003) considerando o ângulo de incidência da agitação e segundo TEIXEIRA (2009) varia entre  $0.40 < R_{max_{Mase_{DIRP6}}}/R_{max_{Teixeira}} < 2.28$  e a correspondente relação quando não se considera o ângulo de incidência varia entre  $0.46 < R_{max_{Mase_{normal}}}/R_{max_{Teixeira}} < 2.49$ .
- A consideração das condições de agitação marítima junto à costa não resulta em nenhum melhoramento significativo do ajuste com os resultados de TEIXEIRA (2009); isto pode dever-se em parte ao facto da propagação da agitação marítima do largo para a costa se ter efectuado apenas para o nível de mar extremo de +4.64 m (ZH) (em vez de se considerar um nível variável no tempo), aumentando as condições de agitação obtidas na costa e consequentemente o espraioamento (RAPOSEIRO *et al.*, 2009c).

### 4.3 Cálculo de cotas de inundaçã

Uma vez estimados os valores do espraioamento da agitação marítima numa zona costeira, as cotas de inundaçã correspondentes, CI (referidas ao ZH), podem ser determinadas assumindo que resultam apenas da soma da contribuiçã da maré astronómica, MA (também referida ao ZH), da sobrelevaçã meteorológica, SM, e do espraioamento, R, i.e.:

$$CI = MA + SM + R \quad (5)$$

A maré astronómica pode ser estimada com rigor para a maioria dos locais. Em geral, medições maregráficas num dado local permitem obter as componentes harmónicas da mesma e, a partir destas, estimar com elevada precisão a curva maregráfica nesse local, admitindo que as condições hidrodinâmicas se mantêm constantes de forma a não alterarem as componentes harmónicas da maré.

A sobrelevação meteorológica é a diferença entre os valores reais da elevação da superfície livre da água do mar observados nos marégrafos (RM) e os devidos apenas à maré astronómica, i.e.  $RM=MA + SM$ . A sobrelevação aqui designada por “sobrelevação meteorológica” é essencialmente induzida por ventos fortes ou de prolongada duração e/ou por pressões atmosféricas anormalmente baixas ou elevadas.

Neste trabalho, por falta de dados maregráficos para o período entre 1986 e 1995, utilizaram-se dois anos completos de registo de maré, RM, assumindo assim a maré igual para os nove anos.

Os valores de R considerados correspondem às estimativas de Rmax obtidas com as metodologias de MASE (1989), NIELSEN & HANSLOW (1991) e TEIXEIRA (2009) para as condições de agitação marítima ao largo para o período de 1986 a 1995. Não se apresentam cálculos de CI com base na formulação de MASE *et al.* (2003) visto, neste trabalho, esta formulação não resultar em nenhum melhoramento significativo no cálculo de Rmax relativamente às expressões anteriores.

Na Tabela 4 apresentam-se os valores máximos de CI para os Perfis 1 e 2 para as condições referidas anteriormente. Tal como era de esperar, a tabela mostra que o valor máximo de CI é muito semelhante para as metodologias de NIELSEN & HANSLOW (1991) e TEIXEIRA (2009) e muito inferior ao valor obtido pela metodologia de MASE (1989). Pode ainda verificar-se que o valor máximo de CI para o Perfil 2 é ligeiramente superior ao valor obtido para o Perfil 1. Para NIELSEN & HANSLOW (1991) e TEIXEIRA (2009), a contribuição de Rmax para CI é inferior à contribuição de RM, enquanto que para MASE (1989) isso não acontece.

Tabela 4 – Cotas de inundação máximas calculadas para os Perfis A1 e A2 com diferentes metodologias.

Metodologia	Perfil	Rmax (m)	Cota de Inundação (m ZH)
MASE (1989)	A1	6.60	9.56
	A2	6.91	9.87
NIELSEN & HANSLOW (1991)	A1	2.71	6.40
	A2	2.88	6.57
TEIXEIRA (2009)	A1	2.70	6.39
	A2	2.87	6.56

Note-se que, dada a existência no Perfil A1 da base da arriba da Praia de Vale do Lobo   cota +10.0 m (ZH) e a existência no Perfil A2 de dunas que se desenvolvem até à cota de aproximadamente +6.4 m (ZH), todos os valores máximos de CI não representam inundação da zona costeira protegida. Para as estimativas de CI serem mais realistas, os registos do marégrafo considerados tinham que corresponder aos registos na bóia-ondógrafo.

## 5 CONCLUSÕES

Nesta comunicação, efectuou-se o cálculo do espraiamento máximo, Rmax, e respectivas cotas de inundação, CI, num troço da praia de Vale do Lobo, concelho de Loulé, utilizando diferentes fórmulas empíricas: MASE (1989) e MASE *et al.* (2003), baseadas em ensaios em modelo físico reduzido, e NIELSEN & HANSLOW (1991) e TEIXEIRA (2009), baseadas em medições de campo.

Para tal, consideraram-se as condições de agitação marítima medidas pela bóia-ondógrafo de Faro durante o período de 1986 a 1995, que foram propagadas para junto à costa considerando um nível da água do mar de +4.64 m (ZH). Esta propagação foi realizada com o modelo espectral não linear SWAN, através da interface construída no sistema GUIOMAR. A caracterização dos perfis de praia foi efectuada recorrendo aos levantamentos de perfis de praia apresentados em TEIXEIRA (2009).

Dos cálculos efectuados e para as condições estudadas, verificou-se que:

- a) A relação entre os valores de  $R_{max}$  segundo MASE (1989) e os valores de TEIXEIRA (2009) varia entre  $1.58 < R_{maxMase}/R_{maxTeixeira} < 2.86$ ;
- b) Os resultados obtidos com a metodologia de NIELSEN & HANSLOW (1991) são muito semelhantes aos resultados obtidos com a metodologia de TEIXEIRA (2009): são superiores apenas em aproximadamente 0.4%;
- c) A consideração das condições de agitação marítima junto à costa através da aplicação da formulação de MASE *et al.* (2003) não resulta em nenhum melhoramento significativo do ajuste com os resultados de TEIXEIRA (2009); isto pode dever-se em parte ao facto da propagação da agitação marítima do largo para a costa se ter efectuado apenas para o nível de mar extremo de +4.64 m (ZH) (em vez de se considerar um nível variável no tempo), aumentando as condições de agitação obtidas na costa e consequentemente o espraio (RAPOSEIRO *et al.*, 2009c);
- d) Tal como era de esperar, o valor máximo de CI é muito semelhante para as metodologias de NIELSEN & HANSLOW (1991) e TEIXEIRA (2009) e muito inferior ao valor obtido pela metodologia de MASE (1989).

Verificou-se do exposto que a metodologia aqui apresentada é rápida e eficiente e que pode ser estendida para outros locais bem como para um período de tempo mais alargado.

O trabalho relacionado com a incorporação desta metodologia, assim como do software desenvolvido, no sistema GUIOMAR de modo a torná-lo uma ferramenta efectiva de apoio ao ordenamento e gestão sustentável da zona costeira encontra-se em curso.

O desenvolvimento de um sistema de previsão e alerta de inundação para zonas costeiras e portuárias será o passo futuro no desenvolvimento e aplicabilidade desta metodologia.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) o financiamento concedido através do projecto PTDC/AMB/67450/2006.

## BIBLIOGRAFIA

BOOIJ, N.; RIS, R.C.; HOLTHUIJSEN, L.H. - A Third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *J. Geoph. Res.*, **104**, C4, 1999, 7649-7666.

COSTA, M., SILVA, R.; VITORINO, J. - Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. *Proc. 2ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, PIANC, Sines, 17 a 19 de Outubro, 2001.

FORTES, C.J.E.M.; REIS, M.T.; RAPOSEIRO, P.D. - *Programas de Espraio*. Relatório GUIOMAR 01/2009. LNEC, 2009.

FORTES, C.J.E.M.; REIS, M.T.; RAPOSEIRO, P.D. - *Programas em FORTRAN para Cálculo do Espraio*. Relatório GUIOMAR 01/2010. LNEC, 2010.

- MASE, H. - Random wave runup height on gentle slope. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 115, 5, 1989, 649-661.
- MASE, H.; HEDGES, T.S.; SHAREEF, M.; NAGAHASHI, S. - Wave overtopping formula for gentle slopes incorporating wave run-up. *Proc. Coastal Engineering*, 50, 2003, 636-640.
- MOURA, D.; BOSKI, E.T. - Unidades litostratigráficas do Pliocénico e Plistocénico no Algarve. *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, 86, 1999, 85-106.
- NEVES, D.R.C.B; ZÓZIMO, A.C.; PINHEIRO, L.V.; FORTES, C.J. - GUIOMAR: desenvolvimentos recentes e aplicação ao caso de Sines. *Proc. 6ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, PIANC, Funchal, 7 e 8 de Outubro, 2009.
- NIELSEN, P.; HANSLOW, D.J. - Wave run-up distributions on natural beaches. *J. Coastal Res.*, 7, 4, 1991, 1139-1152.
- PINHEIRO, L.; FORTES, C.J.; SANTOS, J.A.; NEVES, M.G. - Caracterização de regimes de agitação marítima utilizando a ferramenta SOPRO. *Proc. 8º Congresso da Água*, APRH, Figueira da Foz, 13 a 17 de Março, 2006.
- RAPOSEIRO, P.D.; FORTES, C.J.E.M.; REIS, M.T.; FERREIRA, J.C. - Methodology for the run-up and flooding estimation for the costal zone using the GUIOMAR system: application to the Vale do Lobo beach. *Proc. CoastGis2009*, Itajai - Brazil, 30 Sept-2 Oct, 2009a.
- RAPOSEIRO, P.D.; FORTES, C.J.E.M.; REIS, M.T.; NEVES, D.; FERREIRA, J.C. - Metodologia de cálculo do espraçamento e inundação em zonas costeiras recorrendo ao sistema GUIOMAR: aplicação à praia de Vale do Lobo. *Proc. 6ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, PIANC, Funchal, 7 e 8 de Outubro, 2009b.
- RAPOSEIRO, P.D.; FORTES, C.J.E.M.; REIS, M.T. - Ferramenta de cálculo e análise do espraçamento em estruturas de enrocamento: caso de estudo Praia de Vale do Lobo. *Proc. 3º Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade*, Lisboa, 3 a 5 de Novembro, 2009c.
- SANTOS, F.D.; FORBES, K.; MOITA, R. (Eds.) - *Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaption Measures – SIAM*. Gradiva, Lisboa, Portugal, 2002.
- TAW - *Technical Report Wave Run-up and Wave Overtopping at Dikes*. Technical Advisory Committee on Flood Defence, Delft, May, 2002.
- TEIXEIRA, S.B. - *Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve*. Administração da Região Hidrográfica do Algarve. Faro, 2009, 270p.
- USACE - *Coastal Engineering Manual*. Coastal and Hydraulics Laboratory, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, Miss., 2003.
- VAN DER MEER, J.W.; STAM, C.M. - Wave runup on smooth and rough slopes of coastal structures. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 118, 5, 1992, 534-550.