

# FERRAMENTA DE CÁLCULO E ANÁLISE DO ESPRAIAMENTO EM ESTRUTURAS DE ENROCAMENTO: CASO DE ESTUDO PRAIA DE VALE DO LOBO

*Paulo Duarte Raposeiro<sup>1,2</sup>, Maria Teresa Reis<sup>1</sup>, Conceição Juana Fortes<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente,  
praposeiro@lnec.pt, treis@lnec.pt, jfortes@lnec.pt

<sup>2</sup>Universidade Nova de Lisboa – FCT/DCEA & CENSE – Centre for Environmental and  
Sustainability Research

## **Resumo**

Nesta comunicação, apresenta-se o estudo efectuado para a determinação do espraçamento e cotas de inundação numa estrutura de enrocamento existente na praia de Vale do Lobo, situada no Concelho de Loulé, na região do Algarve.

Com base nas características da agitação marítima determinadas na praia junto ao pé da estrutura durante o ano de 1991, com o sistema GUIOMAR, considerando dois níveis de maré, procedeu-se ao cálculo do espraçamento sobre a estrutura. Para tal, recorreu-se às fórmulas empíricas de TAW (2002) e de van der Meer e Stam (1992). Determinaram-se, também, as respectivas cotas de inundação. Tal permitiu avaliar a influência do nível de maré nos valores de espraçamento encontrados, bem como das diferenças associadas à utilização das duas formulações.

## **1 INTRODUÇÃO**

A análise do risco deve considerar a maior ou menor exposição das estruturas ou da população a eventos que podem causar danos, Dolan e Walker (2006). Assim, entender-se-á por risco de uma área, a probabilidade de um fenómeno adverso (ex. erosão, galgamento, etc.) potencialmente destruidor, poder ocorrer, resultante da exposição a factores de risco naturais e ou antrópicos (magnitude e frequência) multiplicado pela vulnerabilidade, num determinado período e numa

referida área. Desta forma, foi considerado para a classificação do grau de risco a vulnerabilidade local (onde se inclui a sensibilidade do sistema receptor), integrando variáveis como a ocupação do solo, a densidade da construção e a localização das edificações em relação à proximidade do elemento potencialmente “agressor”, ou seja, ao oceano (estabelecendo-se o grau de agressividade inerente á acção).

A determinação de níveis ou cotas de inundação em zonas costeiras é um assunto de extrema importância para a avaliação do risco associado a cada zona costeira, bem como para a realização de mapas de vulnerabilidade à erosão e à inundação dessas zonas. Para esses níveis ou cotas, contribui a agitação marítima que chega ao local em estudo assim como os níveis de maré (composto pela maré astronómica e pela maré meteorológica) que lá se verificam. Além disso, em estudos a longo prazo, o efeito da variação do nível de água do mar devido a alterações do clima também deve ser tido em conta.

O estudo realizado por Teixeira (2009), que pretende contribuir para a definição da linha máxima preia-mar de águas vivas equinociais (LMPMAVE) no litoral sul do Algarve, teve como objectivo fornecer os elementos necessários à delimitação física do leito e da margem das águas do mar. Foi calculada a envolvente máxima dos limites do espraiamento em praias naturais ( $R_{m\acute{a}x}$ ) segundo Mase *et al.* (1989), tendo como base os valores da altura significativa e do período de pico médios anuais publicados por Costa *et al.* (2001), e considerando a cota de maré da máxima preia-mar de águas vivas equinociais (MPMAVE) de +4.0 (ZH), uniforme em todo o Litoral algarvio. A transposição das características da ondulação registada na bóia (altura significativa – HS - e período máximo -  $T_{m\acute{a}x}$ ) para as condições ao largo de cada praia no momento da preia-mar foi feita tendo em consideração o rumo e a celeridade da ondulação (calculada a partir do período máximo registado na bóia) e a distância entre a bóia e um ponto ao largo de cada praia (considerado na batimétrica dos -20 m ZH). No cálculo das cotas de LMPMAVE foi adoptado o valor máximo de cota máxima de preia-mar de águas vivas equinociais e a sua soma com o valor de espraiamento obtido.

Dados os objectivos desse trabalho (determinação da LMPMAVE para o litoral algarvio) a transposição de dados desde o largo até à costa foi efectuada de modo simplificado, para um único nível de mar, e não houve a necessidade de fornecer informação sobre a evolução temporal dos níveis de espraiamento e respectivas cotas de inundação.

Recentemente, foi desenvolvida no LNEC uma metodologia, Raposeiro *et al.* (2009), aplicada à zona costeira do concelho de Loulé da região do Algarve, i.e., a praia de Vale do Lobo para caracterizar de forma simplificada o espraiamento (*run-up*) e as cotas de inundação num troço dessa praia (que não incluía qualquer estrutura), considerando as características de agitação marítima verificadas no ano de 1991, medidos na bóia de Faro durante o ano de 1991. Mais concretamente, com base nessas condições de agitação marítima ao largo e junto à costa (obtidas por intermédio de um modelo numérico de propagação de ondas), para um nível médio do mar, efectuou-se a determinação do espraiamento na praia utilizando as fórmulas empíricas de Nielsen e Hanslow (1991) e de Mase *et al.* (2003). Efectuou-se também a determinação dos correspondentes valores das cotas de inundação. Estes valores permitiram avaliar o impacto de certos parâmetros em cada uma das formulações e as diferenças associadas à utilização das duas formulações.

Nesse trabalho, não foi no entanto analisada nem a influência da variação do nível de mar nem se aplicou a trechos da praia com estruturas costeiras. É, pois, neste âmbito, que se insere o presente trabalho, em que se pretende analisar o impacto da subida do nível do mar para um troço da praia de Vale do Lobo que inclui no seu fim uma estrutura de protecção costeira.

A metodologia utilizada, que se baseia na anterior metodologia, passa pela definição de um conjunto de cenários correspondentes a valores do nível do mar com diferentes períodos de retorno e pela utilização dos dados de agitação marítima medidos na bóia de Faro durante o ano de 1991. Com base nos dados da bóia para os diferentes níveis de mar, efectua-se a propagação do regime de agitação ao largo com o modelo espectral SWAN (Booij *et al.* 1999) inserido no sistema de modelação da propagação de ondas GUIOMAR (Nahon *et al.* 2007) e determinam-se as condições de agitação junto à costa. São aplicadas então as fórmulas empíricas (TAW, 2002 e van der Meer e Stam, 1992) no cálculo do espraiamento em estruturas de enrocamento na zona em estudo nesse período de tempo e os seus resultados  $R_s$  (espraiamento significativo, média do terço mais alto dos espraiamentos),  $R_m$  (espraiamento médio) e  $RI\%$  (espraiamento excedido apenas por 1% de todos os espraiamentos) foram comparados e analisados. Obtiveram-se, também, os correspondentes valores das cotas de inundação considerando para o cálculo os valores de  $RI\%$ .

Nas próximas secções, descrevem-se primeiramente (secção 2) a zona em estudo, a praia de Vale do Lobo e as características da agitação marítima obtidas junto à costa, i.e., no pé da estrutura. Na secção 3, apresentam-se os cálculos

referentes ao espriamento e as respectivas cotas de inundação na zona costeira. Por fim, a sec o 4 apresentam-se as conclusões do trabalho realizado.

## 2 CASO DE ESTUDO

### 2.1 CARACTERIZA O GERAL

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   uma praia de origem sedimentar, tendo as suas arribas um perfil com uma forte tendência anual para manterem uma certa verticalidade.



Figura 1 - Localiza o da praia de Vale do Lobo.

Na Figura 2 e na Figura 3 apresentam-se alguns exemplos de troços característicos da praia de Vale do Lobo.



Figura 2 – Praia de Vale do Lobo.



Figura 3 – Estrutura de enrocamento, praia de Vale do Lobo

No presente trabalho, o troço em estudo   o apresentado na Figura 3 e na Figura 4, caracterizado por uma estrutura de pedra de núcleo permeável, com uma camada de enrocamento de pedra. Na superfície da berma, encontra-se uma

camada fina de manta geo-textil, segurando a areia, para permitir uma passagem pedonal.

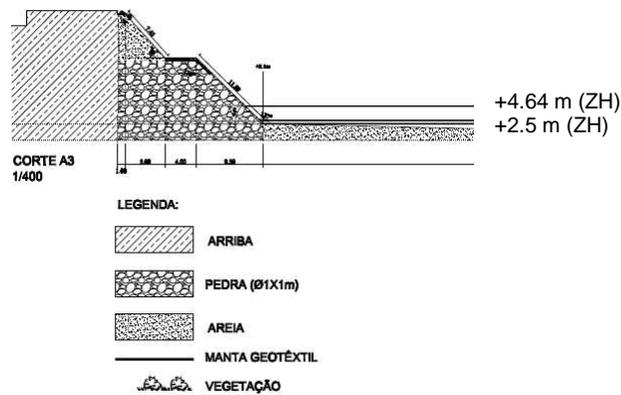


Figura 4 – Secção da estrutura em estudo

## 2.2 AGITAÇÃO MARÍTIMA

### 2.2.1 *Metodologia*

Para o cálculo do espraçamento e cotas de inundação em estruturas de enrocamento, é necessário calcular as condições de agitação marítima junto à costa, nomeadamente no pé da estrutura. Para a caracterização da agitação marítima junto à costa recorreu-se à metodologia utilizada em Raposeiro *et al.* (2009) e que consiste resumidamente na:

- 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 (Carvalho e Capitão, 2000). O período de registos considerado neste trabalho corresponde ao ano de 1991;
- 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, Nahon *et al.* (2007);

- Estabelecimento das características da agitação marítima em 16 pontos ao longo de 3 perfis transversais à praia: os perfis A1, A2 e A3, Figura 5 e Tabela 1, utilizando o programa REGIMES/SOPRO, Pinheiro *et al.* (2006).

Estes cálculos foram efectuados considerando dois cenários de níveis de mar: um de +2.5 m (ZH), correspondendo a um período de retorno de um ano e outro de +4.64 m (ZH), que resulta do período de retorno de 100 anos. O ponto seleccionado, Figura 5, para os cálculos de espraçamento e cotas de inundação corresponde ao pé da estrutura do trecho em estudo (Figura 3), Perfil A3 - P16.

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 1 – Coordenadas dos 16 pontos de amostragem.

Figura 5 - Localização dos 16 pontos de amostragem e dos 3 perfis transversais à praia.

### 2.2.2 Características da agitação marítima

Na Figura 6 apresenta-se, a título de exemplo, a série temporal dos valores da altura de onda significativa, HS referente ao período de 1991, obtidos quer na bóia-ondógrafo de Faro quer junto à costa (por transferência dos dados da bóia utilizando SWAN/GUIOMAR e REGIMES/SOPRO), nomeadamente no Ponto 16 (à profundidade  $h=0.20$  m para os níveis de maré de +2.5 m (ZH) e de +4.64 m (ZH)). Apenas 75 % dos valores observados ao largo atingiram a zona costeira. A Tabela 2 apresenta um resumo dos valores mínimos, médios e máximos no Ponto 16 dos parâmetros de altura de onda significativa, período médio e direcção da onda e as gamas mais frequentes, respectivamente.

Tabela 2 – Valores mínimos, médios e máximos e gamas mais frequentes de HS, TM e DIR no Ponto 16 para os níveis de mar de +2.5 m (ZH) e +4.64 m (ZH) em 1991.

Parâmetros		Mínimo	Médio	Máximo	Gama mais frequente
+2.5 m (ZH)	HS (m)	0.12	0.48	1.35	[0.5-1.0]
	Tm (s)	3.34	3.52	8.88	[4.0-5.0]
	DIR (° N)	115	162	248	[240-260] – [180-200]
+4.64 m	HS (m)	0.12	0.53	2.25	[0.5-1.0]

(ZH)	Tm (s)	3.24	3.43	8.75	[4.0-5.0]
	DIR (° N)	120	158	254	[230-260] – [120-130]

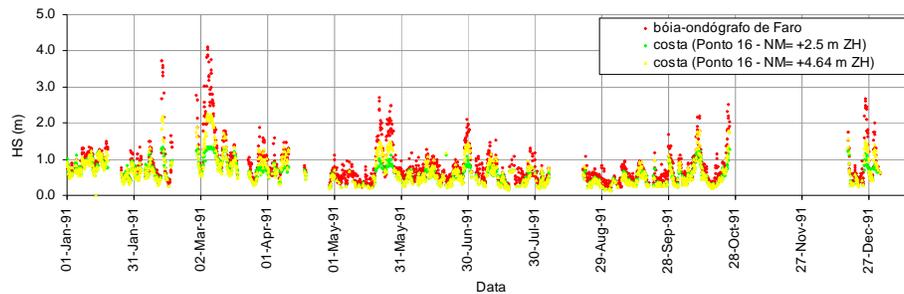


Figura 6 – Séries temporais da altura de onda significativa na bóia-ondógrafo de Faro e na costa (Ponto 16) para o ano de 1991.

### 3 ANÁLISE DO ESPRAIAMENTO PARA A ESTRUTURA NA PRAIA DE VALE DO LOBO

#### 3.1 METODOLOGIA

O cálculo expedito de espraçamento para estruturas de enrocamento é efectuado segundo fórmulas empíricas de TAW (2002) e van der Meer e Stam (1992), baseadas em ensaios e em dados de campo, respectivamente. Estas fórmulas foram aplicadas para taludes com rugosidade e permeabilidade superficial mas com núcleo permeável. Estas características correspondem às da estrutura em estudo neste trabalho: estrutura de pedra de núcleo permeável, com uma camada de enrocamento, ver Figura 3 e Figura 4.

Assim, com base nas condições de agitação ao longo do ano de 1991 (altura, período e direcção da onda) junto à costa, e mais concretamente no ponto 16, obtidas na secção 2.2.2 e para as características do estrutura em estudo, são aplicadas as fórmulas atrás referidas e obtêm-se as estimativas dos valores do espraçamento:  $R_s$ ,  $R_m$  e  $R1\%$  (espraçamento excedido apenas por 1% de todos os espraçamentos), assim como os correspondentes valores das cotas de inundação. Esta aplicação das fórmulas é efectuada através de programas desenvolvidos em FORTRAN, Fortes *et al.* (2009a e b). Estes cálculos foram efectuados para os dois níveis de maré adoptados.

Com base nos resultados obtidos, as análises efectuadas consistiram na comparação de a) valores de espraçamento,  $R_s$ ,  $R_m$  e  $R1\%$  para diferentes formulações empíricas; b) valores de espraçamento  $R_s$ ,  $R_m$  e  $R1\%$  para

diferentes níveis de mar; c) cotas de inundação calculadas a partir dos valores de  $R1\%$  para diferentes níveis de mar e diferentes fórmulas empíricas. Nas sec es seguintes, apresentam-se sucintamente as metodologias baseadas nas fórmulas de TAW (2002) e van der Meer e Stam (1992), descrevem-se os cálculos efectuados e apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos.

### 3.2 CÁLCULO DO ESPRAIAMENTO NUMA ESTRUTURA DE ENROCAMENTO

#### 3.2.1 Metodologia TAW (2002)

O cálculo do espraioamento,  $Ru_{2\%}$ , numa estrutura de enrocamento   dado por:

$$\frac{Ru_{2\%}}{Hm0_{toe}} = A \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \xi_{m-1,0} \quad (\text{eq. 1})$$

sendo  $\gamma_\beta$  o parâmetro que traduz o efeito da direc o da agita o em rela o   estrutura,  $\gamma_b$  o parâmetro que traduz o efeito de uma berma (e   igual a 1 neste trabalho pois a estrutura não tem berma),  $\gamma_f$  o parâmetro que traduz o efeito da rugosidade/permeabilidade,  $A$  o parâmetro que indica se os cálculos são determinísticos:  $A=1.75$  ou são probabilísticos  $A=1.65$  e  $\xi_{m-1,0}$    dado por:

$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{Hm0}{gT_{m-1,0}^2} \cdot \frac{2\pi}}}} \quad (\text{eq. 2})$$

com  $T_{m-1,0} = \frac{m-1}{m_0}$  o período médio,  $\alpha$  o ângulo de inclina o da estrutura e  $g$

a força da gravidade.  $T_{m-1,0}$  e  $Hm0$  são os valores obtidos directamente dos resultados do modelo SWAN. O valor de  $Hm0$  corresponde ao indicado na Figura 6. Note-se que  $Ru_{2\%}$ , eq. 1, apresenta um limite superior que   dado por:

$$\frac{Ru_{2\%\_Max}}{Hm0_{toe}} = \gamma_f \cdot \gamma_\beta \left( B - \frac{C}{\sqrt{\xi_{m-1,0}}} \right) \quad (\text{eq. 3})$$

sendo  $B$  e  $C$  dados por: a) Cálculos determinísticos:  $B= 4.3$  e  $C= 1.6$ ; a) Cálculos probabilísticos:  $B= 4.0$  e  $C= 1.5$ . Esta formula o de TAW (2002)   válida desde que se verifiquem as seguintes condi es:

$$1:1 \leq \text{declive} \leq 1:8 \text{ (máximo 1:10);} \quad (\text{eq. 4})$$

$$\text{Horizontal} \leq \text{bermas} \leq 1:15; \quad (\text{eq. 5})$$

$$0.5 \leq \gamma_b \cdot \xi_{m-1,0} < 8-10; \quad \gamma_b \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_f \geq 0.4 \quad (\text{eq. 6})$$

Após o cálculo  $Ru_{2\%}$  é efectuado a determinação de  $Rs$ ,  $Rm$  e  $RI\%$  assumindo uma distribuição de Rayleigh para os espraiaamentos individuais através das seguintes equações:

$$Rs = \frac{Ru_{2\%}}{1.4}, \quad Rm = 0.63 * Rs, \quad RI\% = 1.52 * Rs \quad (\text{eq. 7})$$

### 3.2.1.1 Cálculo do $\gamma_\beta$

Na determinação de  $\gamma_\beta$ , é necessário ter em conta o tipo de taludes utilizados, e neste caso particular, os taludes rugosos. Para este tipo de taludes rugosos, segundo o EUROTOP (pág. 120 - eq. 6.8) considerando ondas curtas,  $\gamma_\beta$  é dado por:

$$\gamma_\beta = \begin{cases} 1 - 0.0063 * |\beta| & 0^\circ \leq |\beta| \leq 80^\circ \\ 1 - 0.0063 * |80^\circ| & |\beta| > 80^\circ \end{cases} \quad (\text{eq. 8})$$

sendo  $\beta$  o ângulo entre a direcção da onda e a estrutura. Caso se verifique  $80^\circ < |\beta| \leq 110^\circ$ , há que corrigir os valores de  $Hm0$  e  $T_{m-1,0}$  segundo as fórmulas:

$$Hm0_{ajustado} = Hm0 * \left( \frac{110 - |\beta|}{30} \right) \text{ e } T_{m-1,0ajustado} = T_{m-1,0} * \sqrt{\frac{110 - |\beta|}{30}} \quad (\text{eq. 9})$$

Caso se verifique que  $110^\circ < |\beta| \leq 180^\circ$  então  $Ru_{2\%} = 0$ .

### 3.2.1.2 Cálculo do $\gamma_f$

Quanto ao valor de  $\gamma_f$  correspondente a taludes com rugosidade e permeabilidade superficial mas com núcleo permeável, é dado por:

$$\gamma_f = \gamma_{f_{tabela}} + (\xi_{m-1,0} - 1.8) * (1 - \gamma_{f_{tabela}}) / 8.2 \quad (\text{eq. 10})$$

sendo  $\gamma_{f_{tabela}}$  dado no capítulo 2.7 do TAW (2002).

### 3.2.2 Metodologia de van der Meer e Stam (1992)

O cálculo do espraiamento,  $Ru_{i\%}$ , numa estrutura de enrocamento com pedra na superfície e núcleo permeável, é dado por:

$$\frac{Ru_{i\%}}{Hs} = \begin{cases} A\xi_m \dots 1 < \xi \leq 1.5 \\ B\xi_m^C \dots 1.5 < \xi_m \leq \left(\frac{D}{B}\right)^{\frac{1}{C}} \\ D \dots \left(\frac{D}{B}\right)^{\frac{1}{C}} < \xi_m \leq 7.5 \end{cases} \quad \text{e} \quad \xi_m = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{Hs}{gTm^2}}} \quad (\text{eq. 11})$$

com  $Tm$  o período médio (no pé da estrutura),  $Hs$  a altura significativa no pé da estrutura) e  $\alpha$  (ângulo de inclinação da estrutura). Os valores de  $Hs$  e  $Tm$  calculados junto ao pé da estrutura são obtidos dos valores de  $Hm0$  e  $Tm$  obtidos pelo SWAN no ponto 16 (Figura 6) usando a metodologia Battjes e Groenendijk (2000). Quanto aos valores de  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , estão definidos na Tabela VI -5-5, pág VI -5-17 do CEM para diferentes valores de  $i\%$ .

### 3.3 CÁLCULO DO ESPRAIAMENTO NO PERFIL A3

Para as condições de agitação no ponto 16, foram utilizadas as fórmulas de TAW (2002) e van der Meer e Stam (1992), eq.1 à eq.11 e obtiveram-se os valores de  $R_s$  para dois diferentes níveis de mar (+2.5 m (ZH) e +4.64 m (ZH)), que se encontram representados na Figura 7 e Figura 8, respectivamente. Para cada formulação, mostram-se também os resultados de  $R_m$  e  $R1\%$  obtidos para o nível de maré de +4.64 m (ZH), na Figura 7 e na Figura 7.

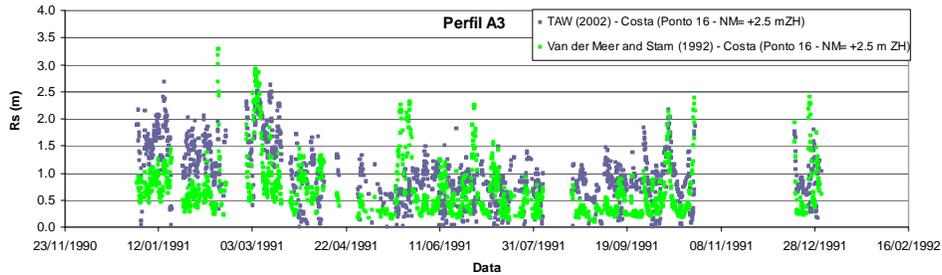


Figura 7 – Valores do espraiamento,  $R_s$ , obtidos no Perfil A3 através de TAW (2002) e de van der Meer e Stam (1992) para as condições de agitação marítima junto à costa (Ponto 16) para o ano de 1991 e para um nível de mar de +2.5 m (ZH).

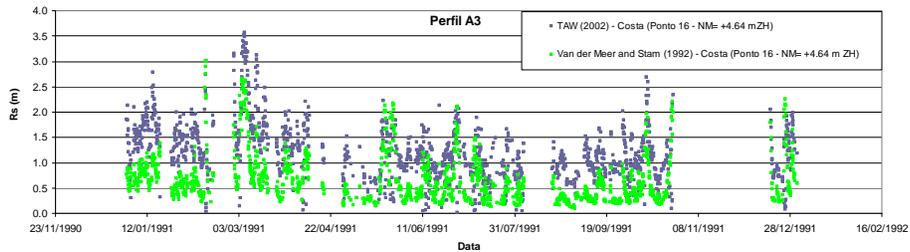


Figura 8 – Valores do espraiamento,  $R_s$ , obtidos no Perfil A3 através de TAW (2002) e de van der Meer (1992) para as condições de agitação marítima junto à costa (Ponto 16) para o ano de 1991 e para um nível de mar de +4.64 m (ZH).

As figuras 7 e 8 mostram que a gama de valores de  $R_s$  calculados por TAW (2002) é mais estreita ( $0.002 < R_s < 2.67$ ) do que a gama de valores obtidos com van der Meer e Stam (1992) ( $0.09 < R_s < 3.29$ ). Cerca de 75% dos valores de  $R_s$  para TAW são superiores aos obtidos na segunda metodologia, para o nível de mar de +2.5 m (ZH), mas, em geral, os valores mais elevados acontecem nesta última metodologia. A relação entre os valores de  $R_s$  segundo TAW e segundo van der Meer e Stam varia entre  $0.0027 < R_{STAW}/R_{SVan\ der\ Meer\ e\ Stam} < 4.85$ .

Para o nível de mar de +4.64 m (ZH), verificam-se maiores diferenças entre os valores obtidos pelas duas metodologias. Embora a gama de valores de  $R_s$  calculados por TAW ( $0.0 < R_s < 3.56$ ) é semelhante à de van der Meer e Stam ( $0.09 < R_s < 3.01$ ), os valores de  $R_s$  segundo TAW são em grande maioria superiores (89%) aos valores obtidos segundo van der Meer e Stam. Os maiores valores acontecem para a metodologia de TAW. A relação entre os métodos está compreendida entre  $0.01 < R_{STAW}/R_{SVan\ der\ Meer\ e\ Stam} < 5.99$ .

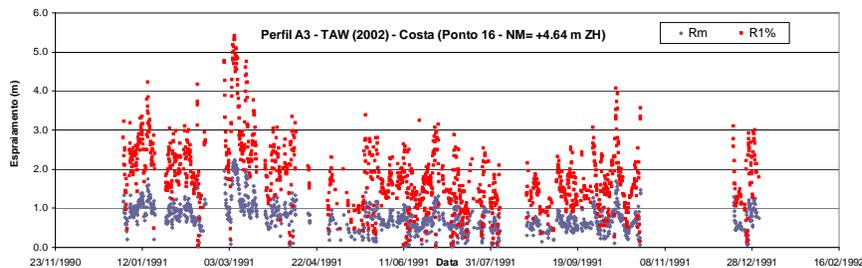


Figura 9 – Valores do espraçamento,  $R_m$  e  $R1\%$ , obtidos no Perfil A3 através da metodologia de TAW (2002) para as condições de agitação marítima junto à costa (Ponto 16) para o ano de 1991 e para um nível de mar de +4.64 m (ZH).

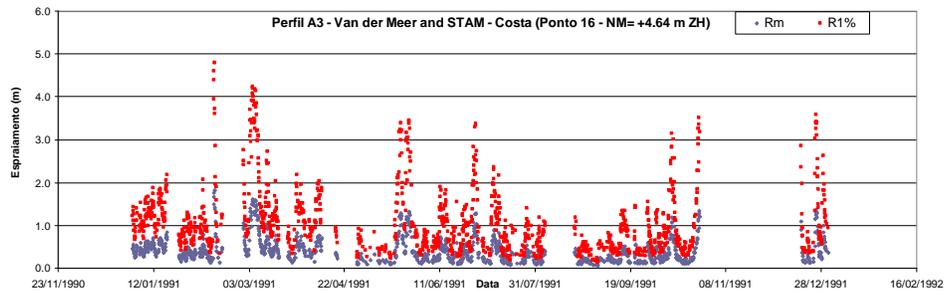


Figura 10 – Valores do espraçamento,  $R_m$  e  $R1\%$ , obtidos no Perfil A3 através da metodologia de van der Meer e Stam (1992) para as condições de agitação marítima junto à cota (Ponto 16) para o ano de 1991 e para um nível de mar de +4.64 m (ZH).

Nas figuras 9 e 10 verifica-se como esperado que os valores de  $R1\%$  são significativamente superiores aos de  $R_m$ , qualquer que seja a metodologia usada. Tal como para a variável  $R_s$ , os valores de  $R_m$  e  $R1\%$  da metodologia TAW da mesma ordem de grandeza que os valores obtidos por van der Meer e Stam, mas na maioria dos casos superiores.

### 3.4 CÁLCULO DE COTAS DE INUNDAÇÃO

Uma vez estimados os valores do espraçamento da agitação marítima na zona costeira, os níveis do mar ou cotas de inundação correspondentes, CI (referidas ao ZH), podem ser determinadas assumindo que resultam apenas da soma da contribuição da maré astronómica, MA (também referida ao ZH), da sobrelevação meteorológica, SM, e do espraçamento, R, i.e.:

$$CI = MA + SM + R \quad (\text{eq. 17})$$

Esta expressão representa uma forma simplificada do cálculo de CI, já que a inundação de uma zona costeira é um fenómeno complexo, quer devido ao número de factores envolvidos no processo, quer devido à interacção entre eles. Neste trabalho, para a determinação das cotas de inundação, procedeu-se à reconstituição da maré astronómica para o local em estudo, para o período de 1991, utilizando o programa WXtide ([www.wxtide32.com](http://www.wxtide32.com)). No que se refere a SM neste trabalho, utilizou-se um valor constante de  $SM=0.4$  m, valor baseado em estudos levados a cabo no âmbito do Projecto SIAM II (Santos *et al.*, 2002).

Para as cotas de inundação, utilizaram-se as estimativas de  $RI\%$  obtidas com as metodologias de TAW (2002) e de van der Meer e Stam (1992) para as condições de agitação marítima determinadas para o Perfil A3, junto à costa (Ponto 16), para o ano de 1991 e utilizando os níveis de mar constante de +2.5 m (ZH) e +4.64 m (ZH) na propagação da agitação da bóia até à costa (secção 3.1.6). Na Figura 11 e na, Figura 12, apresentam-se, respectivamente, os valores das cotas de inundação.

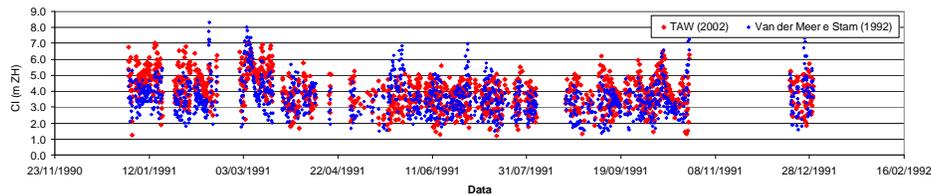


Figura 11 – Valores das cotas de inundação obtidas no Perfil A3 para o ano de 1991 utilizando as metodologias de TAW (2002) e de van der Meer e Stam (1992) para um nível de mar de +2.5 m (ZH) no cálculo do espraçamento na estrutura.

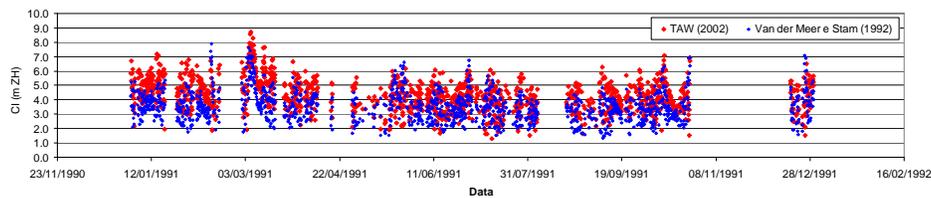


Figura 12 – Valores das cotas de inundação obtidas no Perfil A3 para o ano de 1991 utilizando as metodologias de TAW (2002) e de van der Meer e Stam (1992) para um nível de +4.64 m (ZH) no cálculo do espraçamento na estrutura.

A Figura mostra que o andamento dos valores das cotas de inundação são semelhantes para um nível de mar de +2.5 m (ZH), qualquer que seja a metodologia utilizada. Para a metodologia de TAW (2002), o valor máximo de CI é de 7.28 m (ZH) e para van der Meer e Stam (1992) é de 8.69 m (ZH). No entanto, considerando todos os valores de CI ao longo de 1991, verifica-se que  $0.44 \leq CI_{TAW}/CI_{VanderMeer} \leq 1.76$ .

Para o nível de mar de +4.64 m (ZH), Figura o andamento dos valores das cotas de inundação é também semelhante, mas em geral os valores de TAW são superiores. Para a metodologia de TAW (2002), o valor máximo de CI é 8.33 m (ZH) e para van der Meer e Stam (1992) é de 7.90 m (ZH). No entanto, considerando todos os valores de CI ao longo de 1991, verifica-se que  $0.33 \leq CI_{TAW}/CI_{VanderMeer} \leq 1.77$ . Os valores de CI devem ser considerados com

algumas reservas, dadas as simplificações efectuadas e mencionadas ao longo da comunicação.

Note-se que, dada a existência no Perfil A3 de uma estrutura de enrocamento que se desenvolve até à cota de aproximadamente 8.30 m (ZH), aconteceram valores de CI superiores, para os dois níveis de mar considerados. No entanto, a maioria dos valores ao longo do ano de 1991 são inferiores.

#### 4 CONCLUSÕES

Nesta comunicação, foi descrita a metodologia seguida para o cálculo do espraiamento e respectivas cotas de inundação, na estrutura de protecção da piscina do condomínio de Vale do Lobo, concelho de Loulé, Algarve, utilizando as fórmulas empíricas de TAW (2002), baseadas em dados de campo para praias naturais, van der Meer e Stam (1992), baseadas em ensaios em modelo físico reduzido de taludes impermeáveis.

Esta metodologia baseou-se nas condições de agitação marítima medidas pela bóia-ondógrafo de Faro durante o ano de 1991, que foram propagadas para junto à costa considerando um nível médio da água do mar de +2.5 m (ZH) e +4.64 m (ZH) (e mais concretamente para um ponto à profundidade de 0.20 m para estes níveis de mar). Esta propagação foi realizada com o modelo espectral não linear SWAN, através da interface construída no sistema GUIOMAR.

Com base nas condições de agitação marítima junto à costa durante esse ano, calcularam-se e compararam-se os valores do espraiamento ( $R_s$ ,  $R_m$  e  $RI\%$ ) obtidos com cada fórmula empírica. Analisou-se, também, a influência nos resultados diferentes, da variação da maré. Finalmente, calcularam-se as cotas de inundação.

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

- para o nível de mar +2.5 m (ZH), a gama de valores de  $R_s$  obtidas com TAW é mais estreita face à gama obtida com van der Meer e Stam. Para o nível de mar +4.64 m (ZH) verificam-se maiores diferenças entre os valores obtidos pelas duas metodologias. Os valores de  $R_s$  segundo TAW são em grande maioria superiores (75 % e 89%, para o nível de maré de +2.54 e 4.64 (ZH), respectivamente) aos valores obtidos segundo van der Meer e Stam. Verifica-se que com o aumento do nível de mar (associado a um maior período de retorno) maiores foram as variações entre as duas metodologias. Este tipo de comportamento foi também observado para  $R_m$  e  $RI\%$ .

- Ao longo do ano de 1991, atingiram-se valores de CI superiores à cota da estrutura, mas são em pequeno número. O andamento dos valores das cotas de inundação é também semelhante, qualquer que seja a metodologia e nível de mar considerado. Notou-se que, em geral, os valores obtidos com a metodologia TAW eram inferiores ou da mesma ordem de grandeza do que os de van der Meer e Stam, especialmente para o nível de mar de +2.5 m (ZH), enquanto que no caso do de +4.64 m se passa o contrário.

Verificou-se do exposto que a metodologia aqui apresentada é rápida e eficiente e que pode ser estendida para um período de tempo mais alargado permitindo efectuar previsões a longo tempo bem como a outros locais, e assim efectuar uma análise do risco associado a este efeito.

## 5 AGRADECIMENTOS

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

## 6 REFERÊNCIAS

- Battjes, J.A.; Groenendijk, H.W. (2000). Wave height distributions on shallow foreshores. *Coastal Engineering*, 40, 161-182.
- Booij, N; Ris, R.C.; Holthuijsen, L.H. (1999). “A Third-generation Wave Model for Coastal Regions, Part I, Model Description and Validation”. *J. Geoph. Res.*, 104(C4), 7649-7666.
- Carvalho, M.M.; Capitão, R.P. (2000). Valores Extremos da Agitação Marítima no Algarve. Relatório 237/00 - NPP, LNEC, Lisboa, Outubro.
- Costa, M. , Silva, R. & Vitorino, J. (2001) – Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. *Com. 2ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. Associação Nacional de Navegação. Sines. CD-ROM, 20p.
- Dolan, A. H and Walker, I. J. (2006) Understanding vulnerability of coastal communities to climate change related risks. *Journal of Coastal Research*, SI 39, 1316-1323, Itajaí, SC, Brazil, ISSN0749-0208
- Fortes, C.J.E.M., Reis, M., Raposeiro, P.D. (2009). *Calculos\_Taludes.f*. Programa em FORTRAN para a implementação sistemática da fórmula empírica de TAW(2002).
- Fortes, C.J.E.M., Reis, M., Raposeiro, P.D. (2009). *Calculos\_Estruturas.f*. Programa em FORTRAN para a implementação sistemática da fórmula empírica de Van der Meer e Stam (1992).

- Mase, H.; Hedges, T.S.; Shareef, M.; Nagahashi, S. (2003). Wave overtopping formula for gentle slopes incorporating wave run-up. Proc. Coastal Engineering, 50, 636-640.
- Nahon, A.; Zózimo, A. C.; Fortes, C.J.E.M. (2007). GUIOMAR: Interface para utilização do modelo SWAN. Proc. 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Lisboa, 11 e 12 Outubro (versão electrónica).
- Nielsen, P.; Hanslow, D.J. (1991). Wave run-up distributions on natural beaches. J. Coastal Res., 7(4), 1139-1152.
- Pinheiro, L.; Fortes, C.J.; Santos, J.A.; Neves, M.G. (2006). Caracterização de regimes de agitação marítima utilizando a ferramenta SOPRO. 8<sup>o</sup> Congresso da Água, Figueira da Foz, 13 a 17 de Março de 2006.
- Santos, F.D.; Forbes, K.; Moita, R. (Eds.) (2002). Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaption Measures – SIAM. Gradiva, Lisboa, Portugal.
- Raposeiro, P.D., Fortes, C.J.E.M., Reis, M., Neves, D., Ferreira, J.C., (2009) Metodologia de Cálculo do Espraçamento e Inundação em Zonas Costeiras recorrendo ao Sistema GUIOMAR: aplicação à praia de Vale do Lobo. 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Funchal, 7 e 8 de Outubro.
- TAW (2002). Technical Report Wave Run-up and Wave Overtopping at Dikes. Technical Advisory Committee on Flood Defence, Delft, May.
- Teixeira, S. B. (2009) – Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve. Administração da Região Hidrográfica do Algarve. Faro, 207p.
- Meer, van der. J.W., Stam, M. (1992) Wave Runup on Smooth and Rocks Slopes of Coastal Structures, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol 118, No.5, September/October.