



Metodologia de cálculo do espraçamento e inundação em zonas costeiras recorrendo ao sistema GUIOMAR: aplicação à praia de Vale do Lobo

Paulo D. Raposeiro^{1,2} (praposeiro@gmail.com), C.J.E.M. Fortes¹ (jfortes@lnec.pt), M.T. Reis¹ (treis@lnec.pt), D. Neves¹ (dneves@lnec.pt), José C. Ferreira² (jcrf@fct.unl.pt)

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente

² 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 das cotas de inundação num troço da praia de Vale do Lobo, situada no Concelho de Loulé, na região do Algarve.

Esse 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 ano de 1991. Após a caracterização na zona da bóia, esses dados foram transferidos para junto à praia recorrendo ao modelo de propagação de ondas SWAN inserido no sistema GUIOMAR, que é uma ferramenta em desenvolvimento para apoio ao ordenamento e gestão sustentável da zona costeira.

Com base nas condições de agitação marítima na bóia e na praia e considerando apenas um nível médio da água do mar, o espraçamento na praia foi estimado aplicando duas formulações empíricas: uma baseada em medições de campo e outra em ensaios em modelo físico reduzido. Foram obtidos, ao longo do ano de 1991, os valores do espraçamento, assim como os correspondentes valores das cotas de inundação. Por fim, efectuou-se um conjunto de testes de sensibilidade para avaliar o impacto de certos parâmetros em cada formulação e as diferenças associadas à utilização das duas formulações.

1 INTRODUÇÃO

Tendo em consideração a dinâmica acentuada e os problemas de erosão que se têm vindo a registar em toda a costa portuguesa e, em particular, na costa algarvia, julgou-se interessante estabelecer uma metodologia a ser aplicada à zona costeira do concelho de Loulé, i.e., à praia de Vale do Lobo, para caracterizar de forma simplificada o espraçamento (*run-up*) e identificar possíveis áreas de inundação.

Essa metodologia consiste na aplicação de fórmulas empíricas que permitem obter expeditamente os valores do espraçamento para as condições de agitação marítima que caracterizam uma dada zona em estudo.

Nesta comunicação descreve-se a aplicação preliminar desta metodologia à praia de Vale do Lobo, de forma a avaliar a sua eficácia, potencialidades e limitações. Utilizaram-se os dados de agitação marítima medidos na bóia-ondógrafo de Faro durante o ano de 1991, os quais foram transferidos para junto à praia, para um nível médio da água do mar, com o sistema GUIOMAR de modelação da propagação. O sistema GUIOMAR, em fase de teste, é um sistema integrado de modelação da agitação marítima em estudos de engenharia costeira, desenvolvido com base no software ArcGISTM. É constituído por três componentes principais: o software SIG comercial ArcGISTM, um conjunto de módulos/modelos de propagação das ondas e outros algoritmos de pré e pós-processamento programados em FORTRANTM, e uma interface gráfica do usuário (GUI) desenvolvida em VBA para ArcGISTM, que é responsável pela comunicação entre o usuário e o sistema.

O módulo utilizado para a propagação dos dados desde a bóia até à praia é o módulo SWAN que consiste numa interface para a utilização do modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999) para geração, propagação e dissipação da agitação marítima.

Com base nas condições de agitação na bóia e/ou junto à costa no ano de 1991, foram aplicadas as fórmulas empíricas de Nielsen e Hanslow (1991) e de Mase *et al.* (2003) para o cálculo do espraimento na zona em estudo nesse período de tempo e os seus resultados foram comparados e analisados. Mais concretamente, efectuou-se um conjunto de testes para análise e comparação das fórmulas utilizadas:

- Teste 1 – Aplicação e comparação de resultados do espraimento significativo (média do terço mais alto dos espraimentos), R_s , obtidos através das fórmulas de Mase *et al.* (2003) sem e com a consideração da direcção da onda junto à costa;
- Teste 2 – Aplicação e comparação de resultados de R_s obtidos através das fórmulas de Nielsen e Hanslow (1991) para condições de agitação na bóia-ondógrafo de Faro e junto à costa;
- Teste 3 – Aplicação e comparação de resultados de R_s obtidos através das fórmulas de Nielsen e Hanslow (1991) e de Mase *et al.* (2003) para condições de agitação junto à costa. Para cada metodologia, mostram-se também os resultados do espraimento médio, R_m e dos espraimentos excedidos apenas por 1% e 2% de todos os espraimentos, $R_{1\%}$ e $R_{2\%}$ respectivamente.

Nas próximas secções, descreve-se primeiramente (secção 2) a zona em estudo, a praia de Vale do Lobo, e analisam-se os dados da bóia-ondógrafo de Faro relativos ao ano de 1991. Na secção 3, descreve-se a transferência da agitação marítima da bóia até junto à costa com o sistema GUIOMAR. Na secção 4, apresentam-se os cálculos referentes ao espraimento 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

2.1 CARACTERIZAÇÃO 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 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 subarcósicas e envolvidas num suporte matricial argiloso (Moura e 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, ou seja, o aumento da construção no topo das arribas e a erosão costeira. Com efeito, existem casas 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.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA NA BÓIA-ONDÓGRAFO DE FARO

Para a caracterização da agitação marítima ao largo da zona em estudo, recorreu-se aos dados de agitação marítima medidos pelo Instituto Hidrográfico em Faro com a bóia-ondógrafo direccional WAVERIDER e receptor WAREC. A bóia encontra-se localizada à batimétrica -93 m (ZH), sendo a sua posição de 36° 54' 17" N, 07° 53' 54" W (Filipe *et al.*, 1999). 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 ao ano de 1991 (Filipe *et al.*, 1999). Nesses registos, 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 desse ano. Na Tabela 1 apresenta-se o número de dias em cada mês do ano de 1991 com registos de agitação marítima.

Tabela 1 - Número de dias em cada mês com registos da agitação na bóia-ondógrafo de Faro no ano de 1991.

Ano de 1991	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Nº de dias possíveis	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Nº de dias com registos	26	16	27	15	31	30	30	17	29	25	0	14

Com base nos registos do ano de 1991, apresentam-se da Figura 2 à Figura 4 as séries temporais dos valores de HS, TZ e DIR.

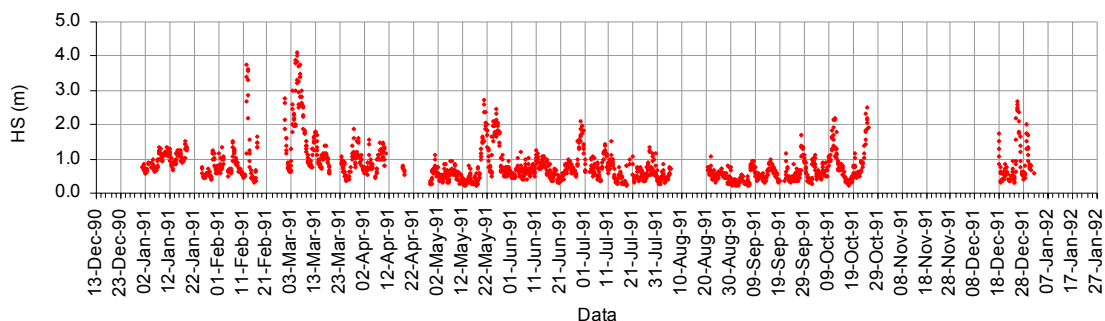


Figura 2 - Séries temporais da altura de onda significativa na bóia-ondógrafo de Faro para o ano de 1991.

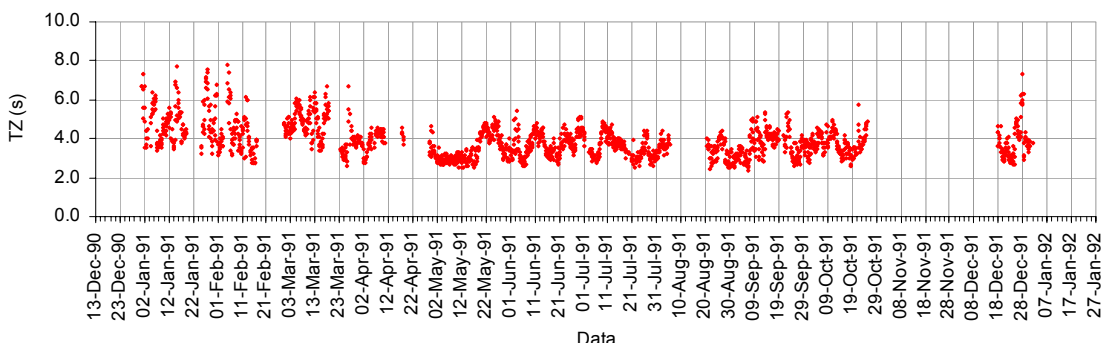


Figura 3 - Séries temporais do período de zero ascendente na bóia-ondógrafo de Faro para o ano de 1991.



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

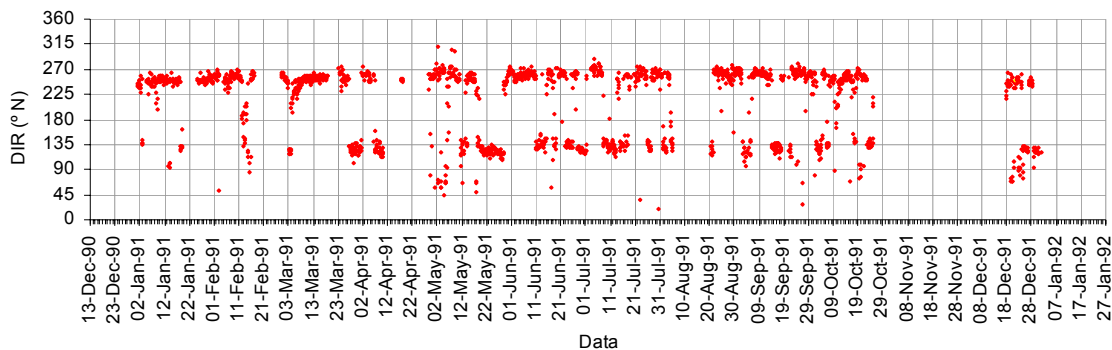


Figura 4 - Séries temporais da direcção da onda na bóia-ondógrafo de Faro para o ano de 1991.

Na Figura 5 apresenta-se o histograma geral conjunto (HS, DIR) de ocorrências na bóia-ondógrafo de Faro para o ano de 1991 e as distribuições marginais.

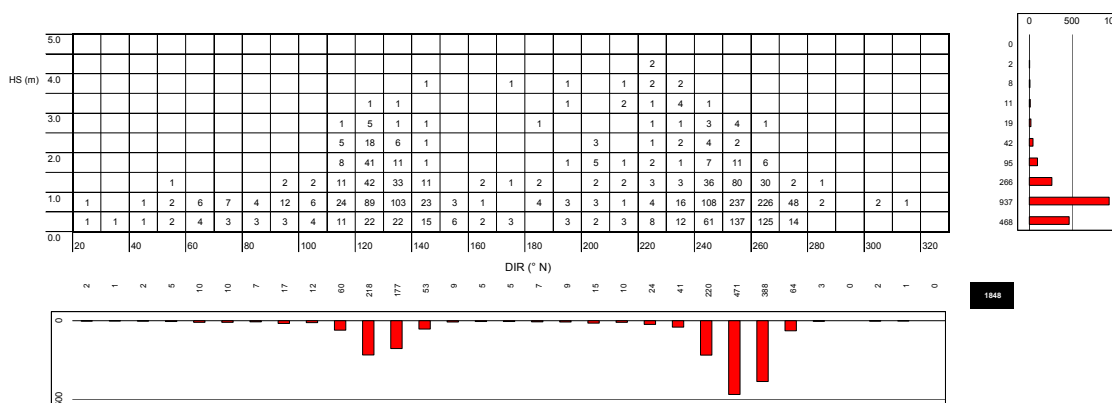
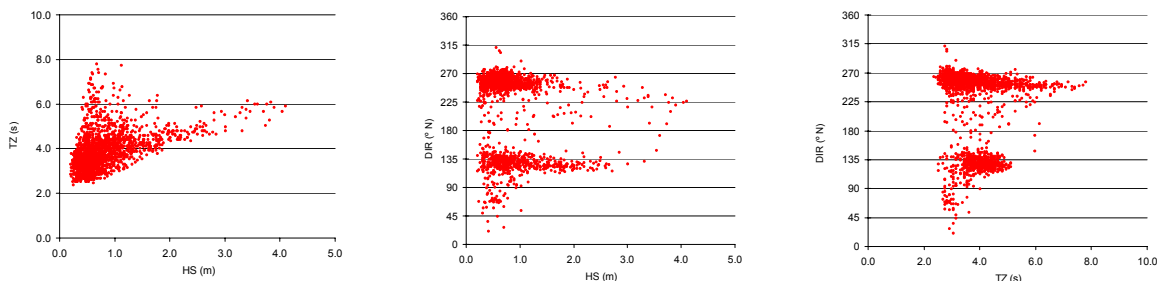


Figura 5 – Histograma geral conjunto (HS, DIR) de ocorrências na bóia-ondógrafo de Faro para o ano de 1991 e distribuições marginais.

Na Figura 6 a), b) e c) apresentam-se as relações HS-TZ, HS-DIR e TZ-DIR na bóia-ondógrafo de Faro para o ano de 1991.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos valores mínimos, médios e máximos dos parâmetros de altura de onda significativa, período de zero ascendente e direcção e as gamas mais frequentes, respectivamente.



a) b) c)
 Figura 6 – Relações HS-TZ, HS-DIR e TZ-DIR na bóia-ondógrafo de Faro para o ano de 1991.



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

Tabela 2 – Valores mínimos, médios e máximos e gamas mais frequentes registados de HS, TZ e DIR na bóia-ondógrafo de Faro para o ano de 1991.

Parâmetros	Mínimo	Médio	Máximo	Gamas mais frequentes
HS (m)	0.21	0.83	4.10	[0.0-1.5]
TZ (s)	2.40	3.90	7.80	[3.0-5.0]
DIR (º N)	20.0	212.5	311.0	[240-260] – [120-140]

Com base na análise das figuras acima verifica-se que na bóia de Faro:

- as alturas de onda significativas variam entre 0.21 m e 4.1 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 7.8 s, sendo os valores no intervalo de 3.0 s a 4.0 s os mais frequentes;
- as direcções espectrais médias estão compreendidas entre 20° e 311°, sendo as direcções mais frequentes provenientes dos sectores entre os 240° a 260° e 120° a 140°. Na gama de 240° a 250° verificou-se o maior número de ocorrências.

Em Filipe *et al.* (1999), apresenta-se um regime de agitação marítima com base em dados da bóia de Faro para um período de 10 anos, de 1988 a 1996, enquanto que num trabalho recente, Capitão *et al.* (2009), se apresenta uma actualização daquele regime, recorrendo aos dados de 1998 a 2007 de Faro e de Cadiz.

3 TRANSFERÊNCIA DOS REGISTOS DA BÓIA-ONDÓGRAFO DE FARO PARA A COSTA

3.1 METODOLOGIA

Como foi já ilustrado no projecto pyMOIA, Palha (2007), a transferência para a costa das características da agitação marítima ao largo pode ser automatizada de uma forma muito expedita, recorrendo a matrizes de transferência (matriz que relaciona os dados de agitação marítima ao largo e os junto à costa) calculadas *a priori*.

Nesta metodologia, simula-se um vasto leque de condições de agitação que representa apropriadamente todas as possibilidades ao largo. Com os resultados constrói-se uma matriz que permite interpolar eficazmente quaisquer outros casos não simulados. Uma vez conhecida a matriz de transferência para a zona em estudo, para cada valor de agitação marítima ao largo (HS, TZ, DIR) obtido num dado instante, procede-se à interpolação desse valor utilizando a matriz de transferência e obtêm-se as características da agitação marítima no ponto(s) em estudo.

Este método, para além de reduzir drasticamente o tempo de cálculo, permitindo simulações quase instantâneas, tem ainda a vantagem de tornar o processo de automatização muito mais simples.

Foi esta a metodologia utilizada no presente estudo. Assim, para se efectuar a transferência até à costa dos registos da bóia-ondógrafo de Faro correspondentes a 1991, procedeu-se à:

- identificação dos intervalos em HS, TZ e DIR que incluem todos os dados de 1991;
- realização de cálculos sistemáticos de propagação de ondas para os trios (HS, TZ, DIR) que resultam dos intervalos anteriormente definidos considerando um dado espaçamento. Estes cálculos de propagação foram realizados com o modelo SWAN, incluído no módulo SWAN do sistema GUIOMAR (Nahon *et al.*, 2007);
- construção da matriz de transferência;
- passagem dos dados da bóia para a praia de Vale do Lobo, com o módulo REGIMES/SOPRO (Pinheiro *et al.*, 2006).



3.2 O SISTEMA GUIOMAR

O sistema GUIOMAR (Charneca *et al.*, 2004; Favreau, 2005; Zózimo *et al.*, 2005; Zózimo e Fortes, 2007; Nahon *et al.*, 2007) foi construído no sentido de apoiar a utilização dos modelos de ondas e constituir uma ajuda fundamental nos processos de tomada de decisão em estudos correntes de engenharia costeira e em situações de emergência. Com efeito, este sistema coordena o uso de modelos numéricos, incluindo a gestão de dados de entrada, geração de malhas computacionais e a análise geográfica dos resultados.

O sistema GUIOMAR é constituído por três componentes principais: um *software* comercial de SIG, um conjunto de modelos numéricos de propagação de ondas e outros programas de pré e pós-processamento programados em FORTRANTM e uma interface com o utilizador, desenvolvida em linguagem de programação VBA para ArcGISTM. O sistema tem um carácter modular, o que o torna facilmente expansível, por permitir a inclusão ou a substituição de módulos por versões mais actualizadas dos modelos numéricos ou por modelos mais avançados que simulem outros fenómenos físicos.

Como os modelos numéricos trabalham directamente com ficheiros de entrada, o sistema GUIOMAR permite não só a introdução de novos dados manualmente, como também a importação de ficheiros de dados já existentes, facilitando assim a construção de novos conjuntos de dados. A exportação dos ficheiros de entrada dos modelos numéricos é simples e ocorre sempre que se manda executar o modelo. O sistema responsabiliza-se pela escrita desses ficheiros de acordo com as especificações pré-estabelecidas para um determinado modelo numérico. Se houver alguma falha nos dados introduzidos, o utilizador é notificado com uma mensagem de erro, que se pretende que no futuro indique o local onde ocorreu a incorrecção.

3.2.1 Módulo SWAN

O módulo SWAN do sistema GUIOMAR consiste numa interface em *Visual Basic Applications* (VBA) para a utilização do modelo numérico SWAN (Booij *et al.*, 1996, 1999).

SWAN, acrónimo de *Simulating WAVes Nearshore*, é um modelo numérico para geração, propagação e dissipação da agitação marítima, baseia-se na equação da conservação da acção de onda e é totalmente espectral em todas as direcções e frequências.

O modelo SWAN é capaz de simular a propagação da agitação marítima desde o largo até próximo da costa considerando os processos físicos de refacção, difracção e empolamento devido a variações do fundo e presença de correntes, crescimento de onda por acção dos ventos, rebentação por influência do fundo e por excesso de declividade (*whitcapping*), dissipação de energia devido ao efeito da fricção do fundo, bloqueio e reflexão por correntes opostas e transmissão através de obstáculos. O modelo pode ser executado em modo estacionário ou não estacionário.

Os dados necessários para a execução do SWAN são: a malha batimétrica da zona a modelar, os campos de ventos e de correntes e as condições de agitação na fronteira de entrada do domínio de cálculo, para além dos fenómenos físicos a ter em conta para cada caso em estudo.

A interface do modelo SWAN, Nahon *et al.* (2007), desenvolvida em VBA, permite o pré e pós-processamento do modelo SWAN de maneira fácil e interactiva. A Figura 7 ilustra a interface na sua aplicação ao presente estudo sobre a praia de Vale do Lobo.

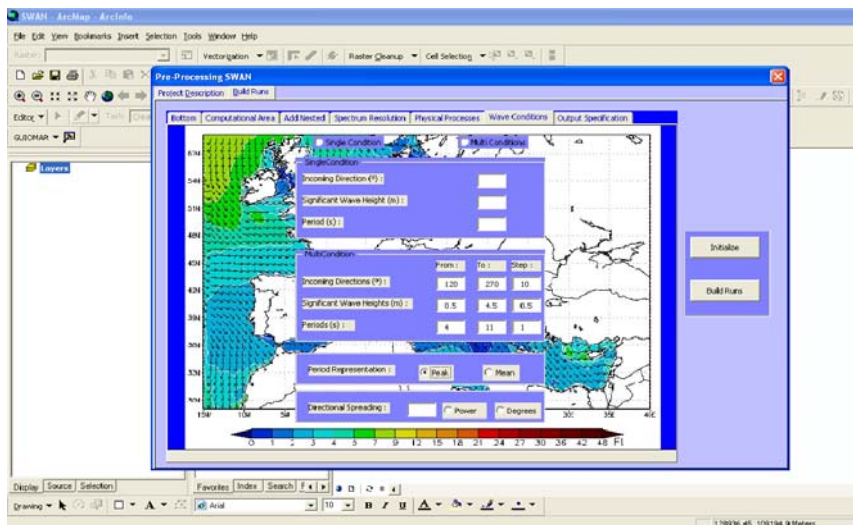


Figura 7 - Interface SWAN "Wave Conditions".

3.3 APLICAÇÃO DO SISTEMA GUIOMAR

3.3.1 Discretização do domínio de cálculo

O domínio de cálculo do modelo SWAN foi discretizado através de três malhas computacionais rectangulares (Figura 8):

- malha 1 - cobre toda a região desde a bóia-ondógrafo de Faro até ao limite de costa do Concelho de Loulé;
- malha 2 - encaixada na malha 1, contém a região próxima à praia de Vale do Lobo;
- malha 3 - encaixada na malha 2, tem apenas a dimensão da praia de Vale do Lobo.

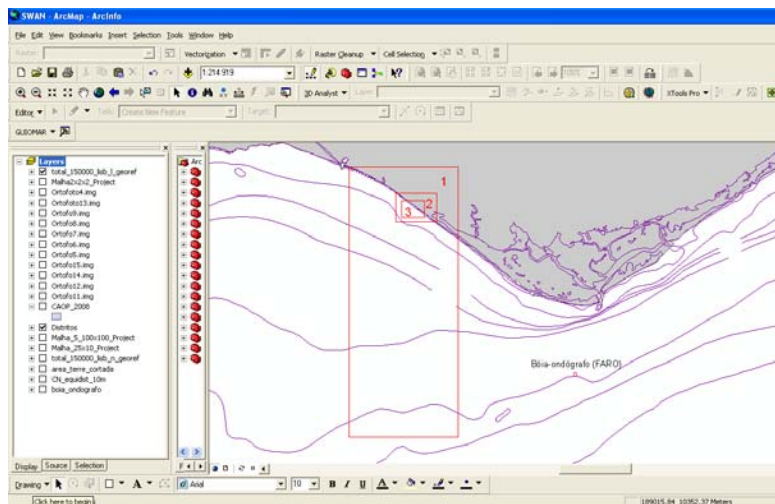


Figura 8 – Malhas computacionais utilizadas nos cálculos com o modelo SWAN.

Na Tabela 3 apresentam-se as características destas malhas: a malha 1 possui as dimensões de 25 km por 10 km e é composta por unidades quadrangulares de 200 m de lado; a malha 2 foi definida com uma resolução de 100 m, cobrindo um quadrado de 5 km de lado; e a malha 3 apresenta uma resolução de 10 m, cobrindo um rectângulo de 3 km por 2 km.



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

Tabela 3 - Malhas computacionais utilizadas no modelo SWAN.

Malha	Comprimento (m)	Largura (m)	Espaçamento (m)	
1	25000	10000	200	200
2	5000	5000	100	100
3	3000	2000	10	10

A informação batimétrica foi fornecida ao modelo através de um conjunto de três malhas, designadas por malhas batimétricas, construídas com base na carta PT324206 *Cape São Vicente to Guadiana Mouth* do Instituto Hidrográfico. Na Tabela 4 apresentam-se as características destas malhas.

Tabela 4 - Malhas batimétricas (baseado na carta PT324206 *Cape São Vicente to Guadiana Mouth* do Instituto Hidrográfico).

Malha	Dimensões $L_x \times L_y$ (m)	Espaçamento (m)		Nº pontos em x	Nº pontos em y
1	25000 x 10000	500	500	70	24
2	10000 x 10000	200	200	49	55
3	5000 x 5000	40	40	149	149

Após análise dos dados da bóia-ondógrafo definiram-se as gamas de valores de HS, TZ e DIR para as quais foram efectuados os cálculos com o modelo SWAN em GUIOMAR.

Os intervalos são definidos segundo os valores mínimos e máximos que se registaram no ano de 1991 na bóia-ondógrafo. Para este caso de estudo, foram escolhidos os intervalos de HS [0.5 m; 4.5 m], TP [4 s; 11 s] e DIR [120°; 270°], em que TP é o período de pico do espectro e considerou-se $TP=1.27 \text{ TZ}$, de acordo com o espectro de JONSWAP. Note-se que não se consideraram valores da direcção de ondas inferiores a 120°, e mais concretamente, de 20° até 120°, pois essas direcções na bóia de Faro não atingem a praia de Vale do Lobo, dada a sua localização. Em termos de cálculo, os valores adoptados corresponderam a valores dentro destes intervalos com espaçamento de 0.5 m, para HS, 1 s para TP e 10° para DIR.

Foi considerado para estes cálculos apenas um nível da água do mar de +2.5 m (ZH), que resulta da soma de:

- +2.0 m (ZH) - valor característico do nível médio da maré previsto para Lagos em 2009 segundo as Tabelas de Marés publicadas pelo Instituto Hidrográfico. Note-se que os níveis de água apresentados nestas tabelas reflectem apenas as variações do nível de água devidas à maré astronómica, para condições meteorológicas normais médias;
- +0.1 m - dado que o plano do Zero Hidrográfico (ZH) foi fixado em relação a níveis médios adoptados há várias décadas, os elementos de marés constantes das tabelas mais actuais referem que “devido à variação do nível médio do mar, são de esperar alturas de água superiores, em cerca de 0.1 m, aos valores indicados nas tabelas”;
- +0.4 m – valor para ter em linha de conta que o nível de água pode ser afectado pela ocorrência de situações meteorológicas extremas (sobreelevação meteorológica), nomeadamente por ventos fortes ou de prolongada duração e/ou por pressões atmosféricas anormalmente baixas ou elevadas (valor baseado em estudos levados a cabo no âmbito do Projecto SIAM II, Santos *et al.*, 2002).

Na malha batimétrica 3 foram definidos 15 pontos de amostragem onde se extraíram resultados das execuções do SWAN (Tabela 5 e Figura 9). Os 15 pontos encontram-se agrupados 5 a 5, ao longo de 3 perfis transversais à praia: os perfis A1, A2 e A3.

Ponto	X	Y	Z
1	204490	8370	10.01
2	204490	9330	5.092
3	204490	9770	3.09
4	204810	8170	10.09
5	204810	9010	5.04
6	204810	9490	3.0
7	205330	7810	10.05
8	205330	8690	5.04
9	205330	9010	3.02
10	204490	10250	1.044
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

Tabela 5 – Coordenadas dos 15 pontos de amostragem.



Figura 9 - Localização dos 15 pontos de amostragem e dos 3 perfis transversais à praia.

Para as condições atrás referidas, aplicou-se então o módulo SWAN no GUIOMAR, efectuaram-se os ficheiros de dados e os cálculos com o modelo SWAN. Os resultados do SWAN consistem nos valores da altura de onda significativa espectral (H_{m0}), dos períodos de onda médios (T_{m01} e T_{m02}), da percentagem de ondas rebentadas, da direcção de pico (DIR), da profundidade no ponto de amostragem (h) e do período de pico (TP). Estes valores foram obtidos nos 15 pontos.

Foi assim construída a matriz de transferência que relaciona um conjunto de condições de agitação na bóia de Faro com as condições nos 15 pontos junto à costa.

3.3.2 Características da agitação marítima na praia de Vale do Lobo

O módulo REGIMES/SOPRO, Pinheiro *et al.* (2006), permite, a partir de um conjunto de dados de agitação marítima existentes num dado local (por exemplo, na bóia de Faro), efectuar a sua transferência para um local de interesse (neste caso, zona junto à praia de Vale do Lobo), e/ou estabelecer os regimes observados, médio, ou de eventos notáveis (tempestades), e as amostras necessárias à obtenção do regime de extremos, consoante o pretendido.

A transferência efectuou-se mediante interpolação linear com base na matriz de transferência dos dados de agitação marítima da bóia para o local de interesse. Este módulo é constituído por um conjunto de folhas de cálculo de Excel, onde são armazenados todos os resultados (ver exemplo na Figura 10).

Hs Orig	Tp Orig	Dir Orig	Hs Dest	Tp Dest	Dir Dest	TRANSFER
0	4	130	0	4.0532	150	
0	4	130	0	4.0532	152	
0	4	140	0	4.0532	156	
0	4	150	0	4.0532	160	
0	4	160	0	4.0532	168	
0	4	170	0	4.0532	176	
0	4	180	0	4.0532	184	
0	4	190	0	4.0532	194	
0	4	200	0	4.0532	202	
0	4	210	0	4.0532	212	
0	4	220	0	4.0532	222	
0	4	200	0	4.0532	230	
0	4	240	0	4.0532	238	
0	4	250	0	4.0532	248	
0	4	250	0	4.0532	256	
0	4	270	0	4.0532	264	
0	5	120	0	4.9621	152	
0	5	130	0	4.9621	164	
0	5	140	0	4.9621	166	
0	5	150	0	4.9621	170	
0	5	160	0	4.9621	176	
0	5	170	0	4.9621	182	
0	5	180	0	4.9621	188	
0	5	190	0	4.9621	196	
0	5	200	0	4.9621	204	
0	5	210	0	4.9621	212	
0	5	220	0	4.9621	222	
0	5	230	0	4.9621	228	
0	5	240	0	4.9621	236	
0	5	250	0	4.9621	244	
0	5	250	0	4.9621	252	
0	5	270	0	4.9621	258	

Número de H igualmente espaçados	Número de T igualmente espaçados	Número de Dir igualmente espaçados
10	8	16

Grau polinómio em H	Grau polinómio em T	Grau polinómio em Dir
2	2	2

Figura 10 – Dados da matriz de transferência na folha de cálculo “Regimes”.

Da Figura 11 à Figura 13 apresentam-se as séries temporais obtidas após efectuada a transferência para a costa dos dados do SWAN referentes a HS, TP e DIR, através do módulo Regimes, no Ponto 9 de amostragem (à profundidade $h=3.09$ m para um nível da água do mar de +2.5 m (ZH)) e sua comparação com os dados do local de origem (bóia-ondógrafo de Faro).

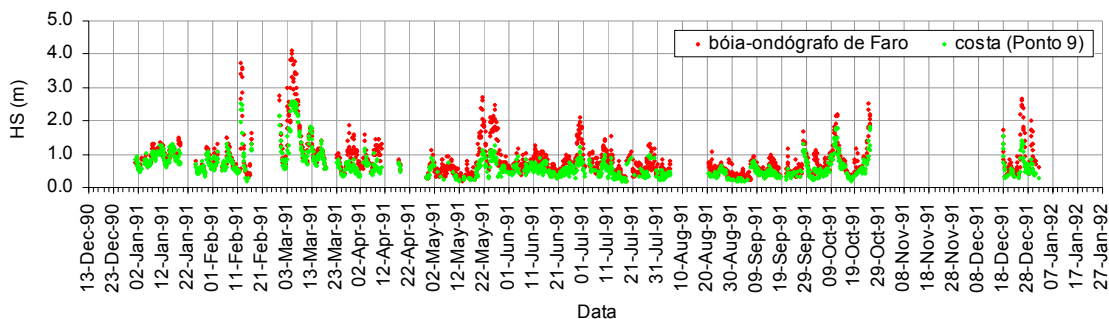


Figura 11 – Séries temporais da altura de onda significativa na bóia-ondógrafo de Faro e junto à costa (Ponto 9) para o ano de 1991.

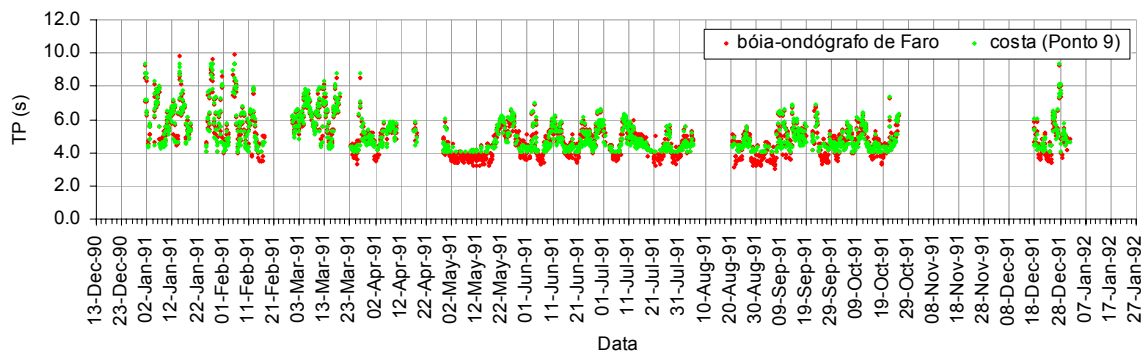


Figura 12 – Séries temporais do período de pico na bóia-ondógrafo de Faro e junto à costa (Ponto 9) para o ano de 1991.

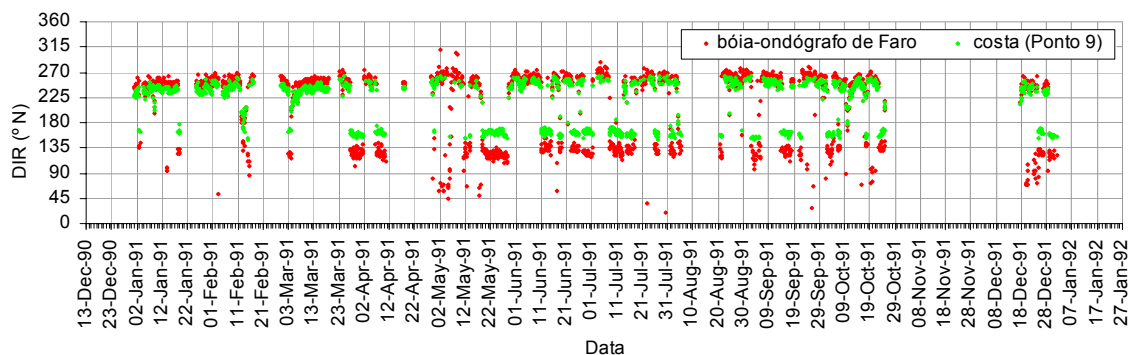


Figura 13 – Séries temporais da direcção de pico na bóia-ondógrafo de Faro e junto à costa (Ponto 9) para o ano de 1991.

A Tabela 6 apresenta um resumo dos valores mínimos, médios e máximos no Ponto 9 dos parâmetros de altura de onda significativa, período de pico e direcção e as gamas mais frequentes, respectivamente.

Tabela 6 – Valores mínimos, médios e máximos e gamas mais frequentes registados de HS, TP e DIR no Ponto 9 para o ano de 1991.

Parâmetros	Mínimo	Médio	Máximo	Gamas mais frequentes
HS (m)	0.17	0.68	2.58	[0.5-1.5]
TP (s)	4.05	5.24	9.39	[4.0-5.0]
DIR (° N)	148.2	216.9	264.0	[230-260] – [150-170]

Na Figura 14 apresenta-se o histograma geral conjunto (HS, DIR) de transferência para o Ponto 9 para o ano de 1991 e as distribuições marginais.

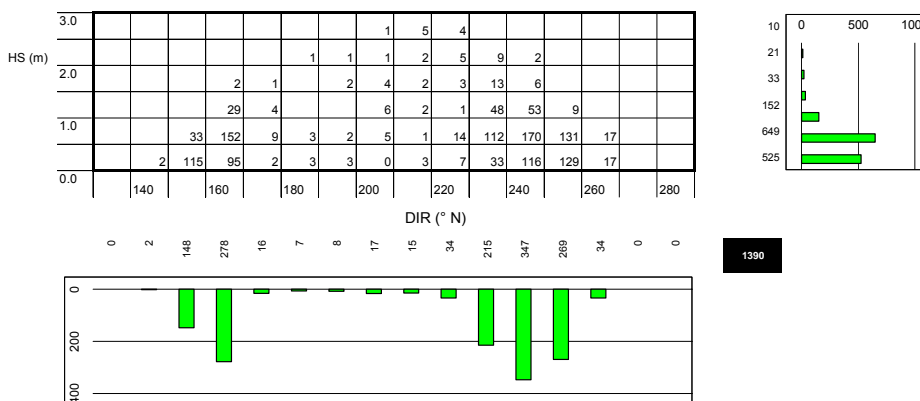


Figura 14 - Histograma geral conjunto (HS, DIR) de transferência para o Ponto 9 para o ano de 1991 e distribuições marginais.

Na Figura 15 a), b) e c) apresentam-se as relações HS-TP, HS-DIR e TP-DIR no Ponto 9 para o ano de 1991.

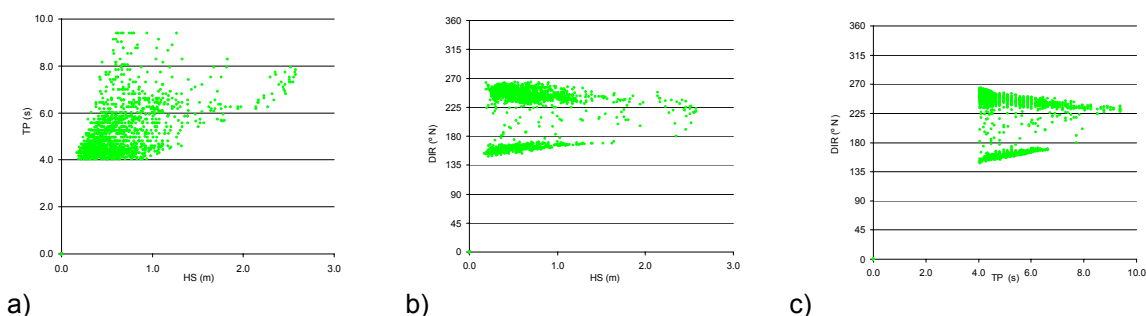


Figura 15 – Relações HS-TP, HS-DIR e TP-DIR no Ponto 9 para o ano de 1991.

Da análise das figuras, verifica-se que as condições marítimas no Ponto 9 têm variações significativas face às condições iniciais na bóia-ondógrafo. Esses resultados são esperados, visto o ponto se encontrar perto da costa. Apenas algumas direcções chegam à costa, devido à refacção. Com efeito verifica-se que, no Ponto 9:

- as alturas de onda significativas, que na bóia variavam entre 0.21 m e 4.1 m, variam entre 0.17 m e 2.58 m;
- os períodos de pico variam entre 4.05 s e 9.39 s, sendo o intervalo mais frequente entre 4.0 s e 5.0 s;
- as direcções espectrais médias, que na bóia variavam entre 20° e 311°, variam entre 148.2° e 264°, tendo-se verificado o maior número de ocorrências na gama de 230° a 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 ao Ponto 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

Actualmente, o cálculo expedito do espraio em praias é 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). Neste trabalho, o espraio na praia de Vale do Lobo foi estimado aplicando as fórmulas propostas por Nielsen e Hanslow (1991) e por Mase *et al.* (2003) desenvolvidas com base em ensaios e em dados de campo, respectivamente.

Para uma dada condição de agitação (altura de onda, período e direcção) na bóia-ondógrafo de Faro ou junto à costa e para as características do perfil de praia em estudo (praia dissipativa, com um declive médio de aproximadamente 1:37), são aplicadas as fórmulas referidas e obtêm-se as estimativas dos valores dos espraio R_s , R_m , $R1\%$ e $R2\%$, 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).

As equações de Nielsen e Hanslow (1991) para o cálculo do espraio usam as condições de agitação marítima ao largo. No entanto, vários trabalhos (tais como o “Atlas de Inundación del litoral peninsular Español” efectuado pelo Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas, GIOC, da Universidade de Cantábria, e o trabalho de Viegas e Sancho, 2005) recomendam a aplicação destas fórmulas utilizando as condições de agitação junto à costa, antes da rebentação das ondas, introduzindo-se assim o efeito da refacção e empolamento das ondas, desde o largo até à zona de rebentação. Assim, neste trabalho a metodologia de Nielsen e Hanslow (1991) é aplicada quer utilizando as condições de agitação marítima na bóia-ondógrafo de Faro, quer junto à costa, antes da rebentação.

As equações de Mase *et al.* (2003) são aplicadas utilizando as condições de agitação marítima junto à costa, antes da rebentação. Como estas equações são baseadas em ensaios em modelo físico reduzido bidimensional, em que o ângulo de incidência da agitação é normal ao talude testado, considera-se neste estudo a metodologia apresentada em TAW (2002) para entrar em linha de conta com o impacto no espraio do ângulo de incidência da onda com a normal ao talude.

Dada a falta de medições de campo do espraio na praia de Vale do Lobo, decidiu-se efectuar um conjunto de testes de sensibilidade de modo a avaliar, quer o impacto de certos parâmetros em cada metodologia, quer as diferenças associadas à utilização de uma ou de outra metodologia. Os testes realizados foram:

- Teste 1 – Aplicação e comparação de resultados de R_s obtidos através das fórmulas de Mase *et al.* (2003) sem e com a consideração da direcção da onda junto à costa (Ponto 9);
- Teste 2 – Aplicação e comparação de resultados de R_s obtidos através das fórmulas de Nielsen e Hanslow (1991) para condições de agitação na bóia-ondógrafo de Faro e junto à costa;
- Teste 3 – Aplicação e comparação de resultados de R_s obtidos através das fórmulas de Nielsen e Hanslow (1991) e de Mase *et al.* (2003) para condições de agitação junto à costa. Para cada metodologia, mostram-se também os resultados de R_m , $R1\%$ e $R2\%$.

Nas secções seguintes, apresentam-se sucintamente as metodologias baseadas nas fórmulas de Mase *et al.* (2003) e de Nielsen e Hanslow (1991), descrevem-se os testes efectuados e apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos.



4.1.1 Cálculo do espraimento segundo Mase *et al.* (2003)

Segundo Mase *et al.* (2003), o valor do espraimento, R_s , num talude calcula-se da seguinte forma:

$$R_s = \begin{cases} (0.25 + 1.1\xi_p)HS & 0 < \xi_p \leq 2.2 \\ (3 - 0.15\xi_p)HS & 2.2 < \xi_p \leq 9.0 \\ 1.65HS & \xi_p > 9.0 \end{cases} \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

$$\xi_p = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{HS}{Lop}}} \quad (\text{eq. 2})$$

$$Lop = \frac{gTP^2}{2\pi} \quad (\text{eq. 3})$$

sendo α o ângulo do talude com a horizontal, g a aceleração da gravidade, HS e TP a altura de onda significativa e o período de pico do espectro obtidos no pé do talude (localizado a profundidades onde não existe rebentação). Para o caso de estudo em questão, considerar-se-á HS e TP junto à costa, antes da rebentação (à profundidade h do ponto de amostragem), em que HS à profundidade h é determinada recorrendo ao método de Battjes e Groenendijk (2000), a partir do valor de H_{mo} fornecido pelo SWAN a essa profundidade. TP é obtido directamente do SWAN.

Com base na direcção de agitação junto à costa, DIR , à profundidade h do ponto de amostragem, obtida directamente do SWAN, é possível estimar o impacto no espraimento do ângulo de incidência da onda com a normal ao talude através da metodologia apresentada em TAW (2002).

Assumindo uma distribuição de Rayleigh para os espraimentos individuais, obtém-se, a partir dos valores de R_s , os valores de R_m , $R_{1\%}$ e $R_{2\%}$:

$$R_m = 0.63R_s \quad (\text{eq. 4})$$

$$R_{1\%} = 1.52R_s \quad (\text{eq. 5})$$

$$R_{2\%} = 1.4R_s \quad (\text{eq. 6})$$

As equações de Mase *et al.* (2003) baseiam-se nos dados dos ensaios descritos por Ahrens (1981) e por Mase (1989) e são válidas para as seguintes condições:

Ahrens (1981):

- taludes constantes, lisos e impermeáveis, com declives 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5, 1:3 e 1:4;
- $0.005 \leq \frac{HS}{gTP^2} \leq 0.08$, HS a altura significativa das ondas no pé do talude;
- $3 \leq \frac{ds}{HS} \leq 12$, ds a profundidade no pé do talude;

Mase (1989):

- taludes constantes, lisos e impermeáveis, com declives 1:5, 1:10, 1:20 e 1:30;
- $0.007 \leq \frac{H_o}{L_o} \leq 0.07$, H_o a altura significativa das ondas em águas profundas.



4.1.2 Cálculo do espraimento segundo Nielsen e Hanslow (1991)

4.1.2.1 Condições de agitação marítima ao largo

Segundo Nielsen e Hanslow (1991), o valor do espraimento, R_s , numa praia natural calcula-se da seguinte forma:

$$R_s = 1.42L_{zwm} \quad (\text{eq. 7})$$

em que:

$$L_{zwm} = \begin{cases} 0.6(H_{rms} L_{op})^{0.5} \tan \alpha & \tan \alpha > 0.1 \\ 0.05(H_{rms} L_{op})^{0.5} & \tan \alpha \leq 0.1 \end{cases} \quad (\text{eq. 8})$$

sendo α o ângulo da praia com a horizontal, L_{op} determinado através da eq. (3) com T_P o período de pico do espectro ao largo, e H_{rms} a altura de onda média quadrática ao largo, obtida a partir de H_{mo} ao largo, assumindo uma distribuição de Rayleigh para as ondas individuais ao largo: $H_{rms} = H_{mo}/1.416$ (CIRIA/CUR/CETMEF, 2007).

Assumindo uma distribuição de Rayleigh para os espraimentos individuais, é possível obter os valores de R_m , $R_{1\%}$ e $R_{2\%}$, da seguinte forma:

$$R_m = 0.89L_{zwm} \quad (\text{eq. 9})$$

$$R_{1\%} = 2.15L_{zwm} \quad (\text{eq. 10})$$

$$R_{2\%} = 1.98L_{zwm} \quad (\text{eq. 11})$$

As equações de Nielsen e Hanslow (1991) baseiam-se em medições de campo e são válidas para as seguintes condições:

- Praias naturais de areia, com $1.5^\circ \leq \alpha \leq 10.8^\circ$ e diâmetro médio dos sedimentos $0.18 \text{ mm} \leq D \leq 0.8 \text{ mm}$;
- $0.53 \text{ m} \leq H_{rms} \leq 3.76 \text{ m}$;
- $6.4 \text{ s} \leq T_S \leq 11.5 \text{ s}$, T_S período significativo das ondas ao largo.

4.1.2.2 Condições de agitação marítima junto à costa

Tal como referido anteriormente, as equações de Nielsen e Hanslow (1991) para o cálculo do espraimento (eqs. 7 a 11) foram desenvolvidas originalmente utilizando as condições de agitação marítima ao largo (H_{rms} e T_P). Para se aplicarem estas fórmulas utilizando as condições de agitação junto à costa (H_{rms} e T_P), antes da rebentação das ondas (à profundidade h do ponto de amostragem), é necessário determinar H_{rms} recorrendo ao método de Battjes e Groenendijk (2000), a partir do valor de H_{mo} fornecido pelo SWAN a essa profundidade. T_P é obtido directamente do SWAN.

4.2 RESULTADOS

4.2.1 Teste 1

Neste teste, foram aplicadas as fórmulas de Mase *et al.* (2003) sem e com a consideração da direcção da onda para as condições de agitação marítima obtidas no Ponto 9 (à profundidade $h=3.09 \text{ m}$) do Perfil A2. Os resultados em termos de R_s para o ano de 1991 encontram-se apresentados na Figura 16.

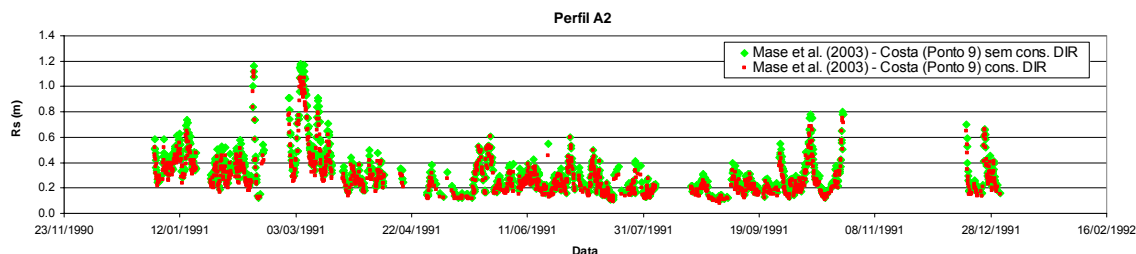


Figura 16 – Valores do espraioamento, R_s , obtidos no Perfil A2 através da metodologia de Mase *et al.* (2003) sem e com a consideração da direcção da onda junto à costa (Ponto 9) para o ano de 1991.

A Figura 16 mostra que o espraioamento significativo no Perfil A2 para o ano de 1991, varia aproximadamente entre 0.10 m e 1.18 m considerando uma incidência das ondas normal à praia, $R_{s_{normal}}$, e entre 0.08 m e 1.12 m considerando a direcção da onda no Ponto 9, $R_{s_{DIRP9}}$. Tal como seria de esperar segundo o método de TAW (2002), uma vez que o valor absoluto dos ângulos de incidência das ondas com a normal ao Perfil A2, $|DIR-180^\circ|$, variam entre 0.4° e 84° , $0.824 \leq R_{s_{DIRP9}}/R_{s_{normal}} \leq 1.0$.

4.2.2 Teste 2

Neste teste, foram aplicadas as fórmulas de Nielson e Hanslow (1991) para as condições de agitação marítima na bóia-ondógrafa de Faro e junto à costa (obtidas no Ponto 9). Os resultados em termos de R_s para o ano de 1991 encontram-se apresentados na Figura 17.

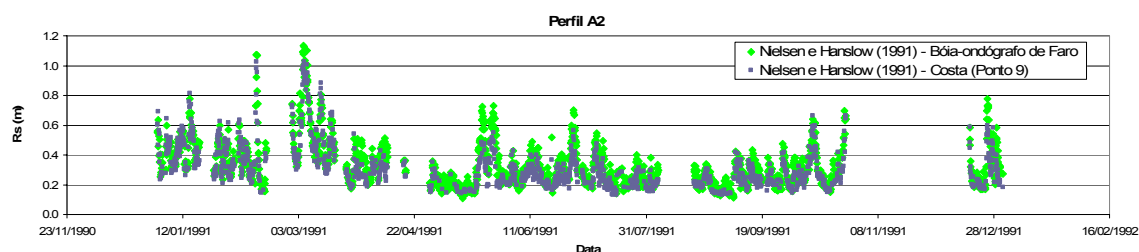


Figura 17 – Valores do espraioamento, R_s , obtidos no Perfil A2 através da metodologia de Nielsen e Hanslow (1991) para as condições de agitação marítima na bóia-ondógrafa de Faro e junto à costa (Ponto 9) para o ano de 1991.

A Figura 17 mostra que o espraioamento significativo no Perfil A2 para o ano de 1991, pode variar consideravelmente consoante se considerem as condições de agitação marítima na bóia-ondógrafa de Faro, $R_{s_{bóia}}$, ou junto à costa, no Ponto 9, $R_{s_{costa}}$: $0.90 \leq R_{s_{bóia}}/R_{s_{costa}} \leq 1.54$, em que $R_{s_{bóia}}$ é inferior a $R_{s_{costa}}$ em 14% dos casos. Uma vez que as condições de agitação marítima variaram significativamente entre a bóia-ondógrafa e a costa (ver secção 3.3.2), já era de esperar que estas diferenças se reflectissem nos valores estimados do espraioamento.

4.2.3 Teste 3

Neste teste, compararam-se os valores de R_s obtidos pelas duas metodologias utilizando as condições de agitação junto à costa (Figura 18).

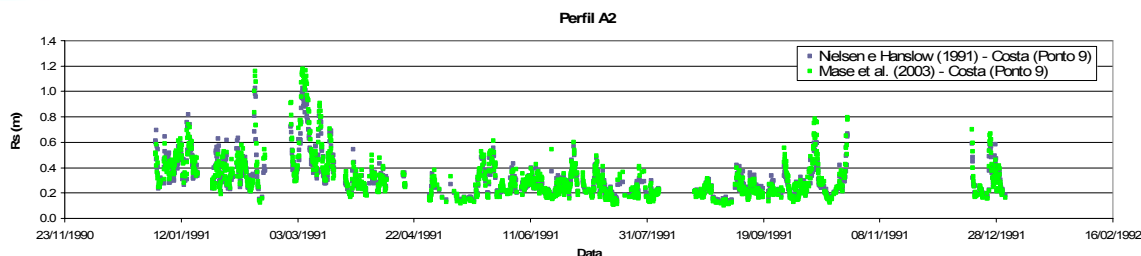


Figura 18 – Valores do espraiamento, R_s , obtidos no Perfil A2 através das metodologias de Mase *et al.* (2003) e de Nielsen e Hanslow (1991) para as condições de agitação marítima junto à costa (Ponto 9) para o ano de 1991.

A Figura 18 mostra a comparação entre os valores de espraiamento, R_s obtidos através das metodologias de Nielsen e Hanslow (1991) e de Mase *et al.* (2003) utilizando as condições de agitação marítima junto à costa (Ponto 9) para o ano de 1991. Note-se que para a metodologia de Mase *et al.* (2003), consideraram-se os resultados que não entram em linha de conta com a direcção da onda junto à costa, uma vez que o método de TAW (2002) não foi aplicado à metodologia de Nielsen e Hanslow (1991) por ter sido desenvolvida originalmente com base em dados de campo usando as condições de agitação ao largo. Ao contrário do que seria de esperar (uma vez que os taludes considerados no desenvolvimento das fórmulas de Mase *et al.* (2003) eram impermeáveis), os valores de R_s segundo Mase *et al.* (2003) são superiores aos valores obtidos segundo Nielsen e Hanslow (1991) apenas em 47% dos casos e a relação entre os valores de R_s segundo Mase *et al.* (2003) e segundo Nielsen e Hanslow (1991) varia entre $0.67 < R_{s_{NeH}}/R_{s_{Mase\ et\ al.}} < 1.32$. Estes resultados podem dever-se a vários factores:

- em alguns casos, a metodologia de Mase *et al.* (2003) foi utilizada para valores de H_s/Lop na bóia-ondógrafo que estão perto do limite inferior de aplicabilidade desta metodologia ou mesmo fora da sua gama de aplicação (ver secção 4.1.1): em 8% dos casos, $H_s/Lop < 0.007$ e em 17%, $H_s/Lop < 0.01$;
- a metodologia de Nielsen e Hanslow (1991) foi aplicada utilizando as características da agitação junto à costa, quando ela foi desenvolvida originalmente para condições ao largo. Note-se ainda que, tal como referido anteriormente, R_s calculado utilizando as condições de agitação na bóia-ondógrafo de Faro é, em 14% dos casos, inferior ao espraiamento obtido através das condições junto à costa. Em 8% desses casos, os valores de R_s segundo Nielsen e Hanslow (1991) são superiores aos valores obtidos segundo Mase *et al.* (2003);
- em muitos casos, a metodologia de Nielsen e Hanslow (1991) foi utilizada para valores de H_{rms} e TS que estão perto do limite inferior de aplicabilidade desta metodologia ou mesmo fora da sua gama de aplicação (ver secção 4.1.2): em 52% dos casos, $H_{rms} < 0.53$ m e em 92%, $TS < 6.4$ s.

Para cada metodologia, mostram-se também os resultados de R_m , $R1\%$ e $R2\%$ obtidos para condições de agitação junto à costa (Figura 19 e Figura 20).

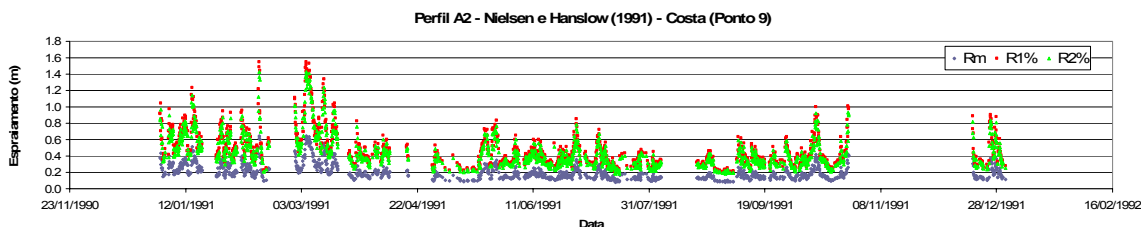


Figura 19 – Valores do espraiamento R_m , $R1\%$ e $R2\%$, obtidos no Perfil A2 através da metodologia de Nielsen e Hanslow (1991) para as condições de agitação marítima junto à costa (Ponto 9) para o ano de 1991.

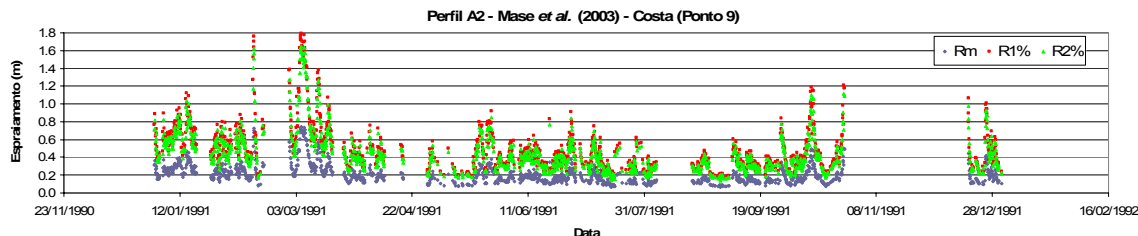


Figura 20 – Valores do espraiamento, Rm, R1% e R2%, obtidos no Perfil A2 através da metodologia de Mase *et al.* (2003) para as condições de agitação marítima junto à costa (Ponto 9) para o ano de 1991.

4.3 CÁLCULO DE COTAS DE INUNDAÇÃO

Uma vez estimados os valores do espraiamento da agitação marítima numa 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 espraiamento, R, i.e.:

$$CI = MA + SM + R \quad (\text{eq. 12})$$

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.

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. 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 Wxtide32 (www.wxtide32.com).

A sobrelevação meteorológica é a diferença entre os valores reais da elevação da superfície livre da água do mar observados nos mareógrafos e os devidos apenas à maré astronómica. 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 1991, utilizou-se um valor constante de $SM=0.4$ m (tal como referido na secção 3.3.1), valor baseado em estudos levados a cabo no âmbito do Projecto SIAM II (Santos *et al.*, 2002).

Para o espraiamento, utilizaram-se as estimativas de R1% obtidas com as metodologias de Nielsen e Hanslow (1991) e de Mase *et al.* (2003) para as condições de agitação marítima determinadas para o Perfil A2, junto à costa (Ponto 9), para o ano de 1991 e utilizando um nível da água do mar constante de +2.5 m (ZH) na propagação da agitação da bóia até à costa (secção 4.2.3).

Na Figura 21 apresentam-se os valores das cotas de inundação para as condições referidas anteriormente. A figura mostra que o valor máximo das cotas de inundação varia apenas 5% consoante a metodologia utilizada para o cálculo do espraiamento: para a metodologia de Nielsen & Hanslow (1991), o valor máximo de CI é 4.94 m (ZH) e para Mase *et al.* (2003) é de 5.18 m (ZH). No entanto, considerando todos os valores de CI ao longo de 1991, verifica-se que $0.89 \leq CI_{NeH}/CI_{Mase\ et\ al.} \leq 1.09$. Os valores de CI devem ser considerados com algumas reservas, dadas as simplificações efectuadas e mencionadas ao longo da comunicação.

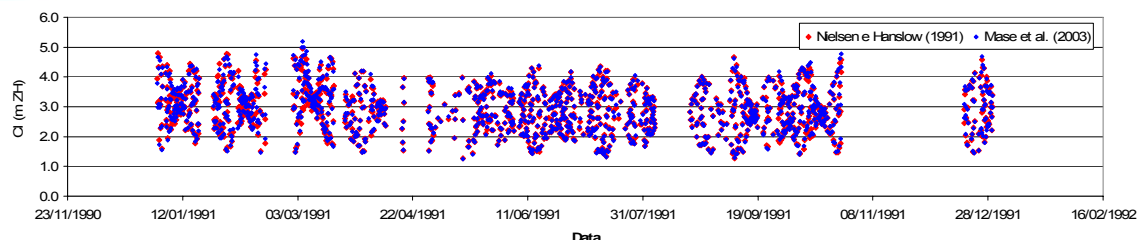


Figura 21 – Valores das cotas de inundação obtidas no Perfil A2 para o ano de 1991 utilizando as metodologias de Nielsen e Hanslow (1991) e de Mase *et al.* (2003) para o cáculo do espraioamento.

Note-se que, dada a existência no Perfil A2 de dunas que se desenvolvem até   cota de aproximadamente +6.4 m (ZH), Figura 22 e Figura 23, todos os valores de $CI < +6.4$ m (ZH) não representam inunda o da zona costeira protegida. Neste caso, para as estimativas de CI serem mais realistas, os níveis do mar a considerar na propaga o da agita o marítima da bóia até   costa devem ser obtidos através da soma de MA e SM ao longo do período de 1991, em que SM deve também variar ao longo desse período.



Figura 22 – Praia de Vale do Lobo.



Figura 23 – Dunas da Praia de Vale do Lobo.

5 CONCLUSÕES

Nesta comunica o, foi descrita a metodologia seguida para o cáculo do espraioamento e respectivas cotas de inunda o, num troço da praia de Vale do Lobo, concelho de Loulé, Algarve, utilizando as fórmulas empíricas de Nielsen e 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.

Esta metodologia baseou-se nas condi oes de agita o marítima medidas pela bóia-ondógrafo de Faro durante o ano de 1991, que foram propagadas para junto   costa considerando um nível médio da água do mar de +2.5 m (ZH) (e, mais concretamente, para um ponto   profundidade de 3.09 m para este nível do mar). Esta propaga o foi realizada com o modelo espectral não linear SWAN, através da interface construída no sistema GUIOMAR.

Com base nas condi oes de agita o marítima na bóia-ondógrafo de Faro ou junto   costa durante esse ano, calcularam-se e compararam-se os valores do espraioamento (R_s , R_m , $R_{1\%}$ e $R_{2\%}$) obtidos com cada fórmula empírica. Analisou-se, também, a influência nos resultados: a) da direc o da onda junto   costa quando se utilizam as fórmulas de Mase *et al.* (2003); b) da considera o de condi oes de agita o na bóia ou junto   costa quando se utilizam as fórmulas de Nielsen e Hanslow (1991); c) da utiliza o de duas fórmulas empíricas diferentes, utilizando as condi oes de agita o junto   costa. Finalmente, calcularam-se as cotas de inunda o.

Dos c culos efectuados e para as condi oes estudadas, verificou-se que:

- a considera o da direc o das ondas no ponto em estudo junto   costa leva a uma diminui o de até 17.6% dos valores do espraioamento significativo, R_s , face   considera o de uma direc o normal   praia, quando se aplicam as fórmulas de Mase *et al.* (2003);
- existe uma varia o significativa nos resultados de R_s obtidos com a fórmula de Nielsen e Hanslow (1991) pelo facto de se considerarem condi oes de agita o marítima na bóia ou



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

- junto à costa: em 14% dos casos as condições na bóia resultam em espraiaamentos inferiores (com uma variação máxima de 10%), enquanto que nos restantes casos, as condições na bóia resultam em espraiaamentos superiores (com uma variação máxima de 54%). Esta variação é consequência das condições junto à costa serem significativamente diferentes das condições na bóia;
- c) ao contrário do que seria de esperar, os valores de R_s segundo Mase *et al.* (2003) são superiores aos obtidos segundo Nielsen e Hanslow (1991) apenas em 47% dos casos; isto pode dever-se a que em alguns casos, quer a metodologia de Mase *et al.* (2003), quer a de Nielsen e Hanslow (1991), foram utilizadas perto dos seus limites inferiores de aplicabilidade ou mesmo fora das suas gamas de aplicação. A variação máxima do quociente entre os valores de R_s obtidos pelas duas metodologias é de aproximadamente 33%;
 - d) a variação do quociente entre os valores das cotas de inundação obtidas através das duas metodologias para o cálculo do espraiaamento é, de aproximadamente, 10%; os valores máximos variam apenas 5%, atingindo um máximo de 4.94 m (ZH) para a metodologia de Nielsen e Hanslow (1991) e de 5.18 m (ZH) para Mase *et al.* (2003).

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 para outros locais.

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.

Além disso, a análise do espraiaamento considerando um período de tempo mais alargado, outros perfis desta praia com diferentes características do estudado (que incluem por exemplo, estruturas de protecção costeira, como é o caso da protecção da piscina do condomínio de Vale do Lobo) e a influência da variação do nível da água do mar e da sobrelevação meteorológica, constitui trabalho futuro para a caracterização do espraiaamento e das correspondentes cotas de inundação da praia de Vale do Lobo.

6 Agradecimentos

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

7 Referências

- Ahrens, J.P. (1981). Irregular wave runup on smooth slopes. Coastal Engineering Technical Aid Nº 81-17, US Army, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, December.
- Battjes, J.A.; Groenendijk, H.W. (2000). Wave height distributions on shallow foreshores. Coastal Engineering, 40, 161-182.
- Booij, N.; Holthuijsen, L.H.; Ris, R.C. (1996). The SWAN wave model for shallow water. Proc. 25th Int. Conf. Coastal Eng., Orlando, 1, 668-676.
- 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.
- Capitão, R.; Sancho, F.; Alenquer, N.; Proença, B. (2009). Colmatação de falhas em dados de agitação marítima. O caso de Faro. 6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Funchal, 8 e 9 de Outubro.
- Charneca, N., Zózimo, A.C., Fortes, C.J.E.M. (2004). Aplicação de uma ferramenta SIG em estudos de propagação de ondas marítimas. Proc. VII Congresso da Água, Lisboa (versão electrónica).



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

- CIRIA/CUR/CETMEF (2007). The Rock Manual: The Use of Rock in Hydraulic Engineering. CIRIA C683, June.
- Favreau, M. (2005). A GIS Tool for Coastal Wave Propagation. Relatório de Estágio. LNEC.
- Filipe, A.; Carvalho, M.M.; Capitão, R. (1999). Regime Geral Observado da Agitação Marítima no Algarve. Relatório 205/99-NPP. Lisboa, Setembro.
- Fortes, C.J.E.M.; Reis, M.T.; Raposeiro, P.D. (2009a). Calculos_Maseetal2003.f. Programa em FORTRAN para a implementação sistemática da fórmula empírica de Mase et al. (2003).
- Fortes, C.J.E.M.; Reis, M.T.; Raposeiro, P.D. (2009b). Calculos_NielsenHanslow1991.f. Programa em FORTRAN para a implementação sistemática da fórmula empírica de Nielsen e Hanslow (1991).
- Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (GIOC). Atlas de Inundación del Litoral Peninsular Español – Documento Temático, Universidade de Cantábria.
- Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (GIOC). Atlas de Inundación del Litoral Peninsular Español – Documento Complementario, Universidade de Cantábria.
- Mase, H. (1989). Random wave runup height on gentle slope. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 115(5), 649-661.
- 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.
- Moura, D.; Boski, E.T. (1999). Unidades litostratigráficas do Pliocénico e Plistocénico no Algarve. Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro, 86, 85-106.
- Nahon, A.; Zózimo, A.C.; Fortes, C.J.E.M. (2007). GUIOMAR: Interface para utilização do modelo SWAN. Proc. 5^{as} 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.
- Palha, A.C. (2007). pyMOIA – Previsão, em tempo real, da agitação marítima em zonas portuárias. Proc. 5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Lisboa, 11 e 12 de Outubro (versão electrónica).
- Pinheiro, L.; Fortes, C.J.; Santos, J.A.; Neves, M.G. (2006). Caracterização de regimes de agitação marítima utilizando a ferramenta SOPRO. Proc. 8^o Congresso da Água, Figueira da Foz, 13 a 17 de Março.
- Santos, F.D.; Forbes, K.; Moita, R. (Eds.) (2002). Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaption Measures – SIAM. Gradiva, Lisboa, Portugal.
- TAW (2002). Technical Report Wave Run-up and Wave Overtopping at Dikes. Technical Advisory Committee on Flood Defence, Delft, May.
- USACE (2003). Coastal Engineering Manual. Coastal and Hydraulics Laboratory, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, Miss.
- Viegas, T.; Sancho, F. (2005). Níveis de inundação em zonas costeiras: metodologia de cálculo. Proc. 4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro.
- Zózimo, A.C.; Fortes, C.J.E.M. (2007). Estado actual e desenvolvimentos futuros do sistema integrado de apoio à tomada de decisão em engenharia costeira: GUIOMAR. Tecnologias da Água, 52, edição IV, Outubro/Dezembro, 54-65.
- Zózimo, A.C.; Gonçalves, A.; Fortes, C.J.E.M.; Charneca, N. (2005). Ferramenta SIG para modelos de propagação de ondas. Desenvolvimentos preliminares. Proc. 7^o Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (SILUSBA), Évora, Portugal.