

# Análise do desempenho do modelo SWAN na zona da Costa da Caparica

R. Capitão<sup>(1)</sup>, C. Fortes<sup>(1)</sup>, P. Poseiro<sup>(1)</sup> e P. Raposeiro<sup>(2)</sup>

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). [rcapitao@lnec.pt](mailto:rcapitao@lnec.pt)

(2) Centro de Investigação em Ambiente e Sustentabilidade – Universidade Nova de Lisboa –

**Resumo:** O sistema HIDRALERTA é um sistema de previsão e alerta de risco de galgamento e inundações em áreas costeiras e portuárias, atualmente em desenvolvimento. Para obtenção das condições de agitação marítima locais são utilizados modelos numéricos de propagação de ondas, nomeadamente o modelo SWAN. Este trabalho visa contribuir para uma melhor compreensão das características da agitação marítima local num dos casos de estudo considerados no projeto: a praia de S. João de Caparica. Assim, utilizaram-se os dados recolhidos em duas campanhas de medição naquela zona, os quais foram depois analisados e comparados com os resultados obtidos pelo modelo SWAN para o mesmo local. Foi ainda feita a comparação entre os dados fornecidos pela boia da APL e o modelo SWAN, no local da boia. Estes procedimentos permitiram avaliar o desempenho do modelo SWAN para este local.

**Palavras-chave:** sistema de previsão e alerta, agitação marítima, SWAN.

## 1. INTRODUÇÃO

A existência de uma ferramenta para o planeamento e gestão a curto e longo prazo de áreas costeiras e portuárias é particularmente importante na costa Portuguesa, dada a sua extensão, a severidade do clima de agitação marítima, a concentração de população e as atividades económicas que nela se desenvolvem.

Neste contexto, está a ser implementada no sistema HIDRALERTA (Fortes *et al.* 2013) uma metodologia para a avaliação do risco de inundações em áreas costeiras e portuárias. Este sistema integrado de gestão costeira e portuária tem como objetivo prevenir situações de emergência e apoiar a gestão, bem como planear intervenções a longo prazo, nas estruturas costeiras e portuárias.

O sistema HIDRALERTA parte da utilização de previsões da agitação marítima nas zonas costeiras e portuárias, para calcular os efeitos dos galgamentos e inundações nessas zonas. O sistema é formado por 4 módulos, um deles de caracterização da agitação marítima. Nesse módulo, são usados modelos numéricos de geração e propagação de ondas, entre os quais os modelos WaveWatch III (Tolman, 1999) e SWAN (Booij *et al.* 1999), sendo que os parâmetros deste último devem idealmente ser calibrados para cada zona em estudo.

É nesta fase que se insere o presente trabalho. A avaliação do desempenho e calibração do modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999), quando aplicado à zona da Costa da Caparica (uma das zonas de estudo e de aplicação do sistema HIDRALERTA), será efetuada através da comparação dos resultados numéricos com medições *in-situ*, tratando-se portanto de uma extensão do trabalho desenvolvido por Neves (2013).

No presente trabalho descreve-se o local de estudo, a agitação medida *in-situ*, a aplicação do modelo

SWAN à zona em estudo e a comparação entre os dados medidos e calculados.

## 2. LOCAL DO ESTUDO

A praia de S. João da Caparica localiza-se no extremo norte da Costa da Caparica, no município de Almada (Figura 1).



Fig. 1. Localização do caso de estudo (Google Earth © 2014)

Trata-se de uma praia relativamente extensa, representando uma área balnear de grande importância para as cidades de Lisboa e Almada. Constitui ainda um ponto de lazer para moradores e turistas durante todo o ano.

A praia de S. João da Caparica tem um comprimento de 1380 m e está confinada entre dois esporões. O esporão norte tem um comprimento de 350 m e o esporão sul tem um comprimento de 150 m. Junto ao esporão sul encontra-se ainda uma estrutura longitudinal aderente constituída por uma camada de enrocamento e com um núcleo constituído por areia e pedras de pequenas dimensões.

## 3. MEDIÇÕES IN-SITU

### 3.1. Dados medidos na boia da APL

A caracterização da agitação marítima ao largo da praia de S. João da Caparica é efetuada com base nos dados da boia-ondógrafo da Administração do Porto de Lisboa (APL), que se encontra estacionada

à entrada da barra de acesso ao estuário do Tejo (Figura 2).

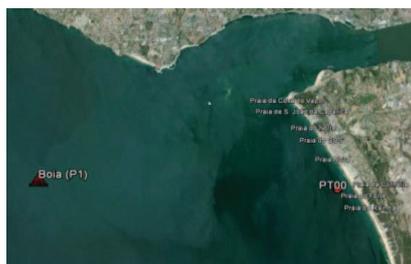


Fig. 2. Localizações da boia-ondógrafo da APL e das praias da Costa da Caparica (Google Earth © 2014)

A boia-ondógrafo, do tipo “TRIAXYS directional wave buoy” localiza-se nas coordenadas geográficas 38° 37' 25'' N, 9° 23' 09'' W e a uma profundidade batimétrica de -30 m (ZH). Nesta boia existem dados desde 1.10.2007 até 16.11.2012 (~6 anos), mas com períodos extensos de falhas. Desde 25.10.2012 até 19.01.2013 (~3 meses) os dados estão disponíveis na internet, com registos de 10 em 10 minutos. Neste trabalho são particularmente relevantes os parâmetros HS (altura significativa), TP (período de pico) e DIR\_TP (direção de pico). Na Tabela 1 são apresentadas estatísticas descritivas das séries de HS, TP e DIR\_TP, obtidas no local da boia.

Tabela 1 - Estatísticas gerais dos dados existentes (de 1 out..2007 a 16 nov 2012).

Estatísticas	HS (m)	TP (s)	DIR_TP (°)
Média	1.262	10.682	280.0
Mediana	1.040	10.500	284.5
Moda	0.880	11.800	284.1
Desvio Padrão	0.722	2.971	28.4
Variância	0.522	8.827	806.8
Curtose	4.603	0.002	29.2
Assimetria	1.942	0.044	-4.2
Gama	5.910	18.100	359.6
Mínimo	0.280	1.900	0.1
Máximo	6.190	20.000	359.7
Número	29418	29418	29418

Dos resultados obtidos verifica-se que o regime observado no local da boia é caracterizado por:

- Alturas HS entre 0.28 m e 6.2 m, com média de 1.26 m e gama mais frequente entre 0.5 m e 1.5 m;
- Períodos de pico, TP, de 1.9 s a 20 s, com média de 10.7 s;
- Direções de onda, DIR\_TP, entre 0° e 360°, ocorrendo maioritariamente na gama entre 240° e 320°. Neste ponto há ainda uma gama entre 0° e 100° que, apesar de registar poucas ocorrências, apresenta elevados períodos de pico.

### 3.2. Campanhas de medições *in-situ*

As campanhas de medições *in-situ* realizadas na Costa da Caparica e que envolveram elementos do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), da Universidade Nova de Lisboa (UNL), da Universidade do Algarve (UA) e da Faculdade de Ciências (FCUL) efetuaram-se em 11 a 15 de maio de 2010 (campanha 1) e 29 e 30 de outubro de 2012

(campanha 2) na praia da Cornélia e na praia de S. João da Caparica, respetivamente. O objetivo das campanhas era o de adquirir dados hidrodinâmicos e morfológicos para testar e validar modelos numéricos, assim como, melhorar o conhecimento da dinâmica da rebentação e sua influência no transporte de sedimentos e na morfodinâmica das praias em estudo. As campanhas envolveram o uso de diversos instrumentos de aquisição, tais como transdutores de pressão (PT), correntómetros eletromagnéticos (ECM), GPS-diferencial e ADCP. Na Figura 3 mostram-se pormenores do posicionamento dos equipamentos nas respetivas estruturas de suporte na campanha 1.

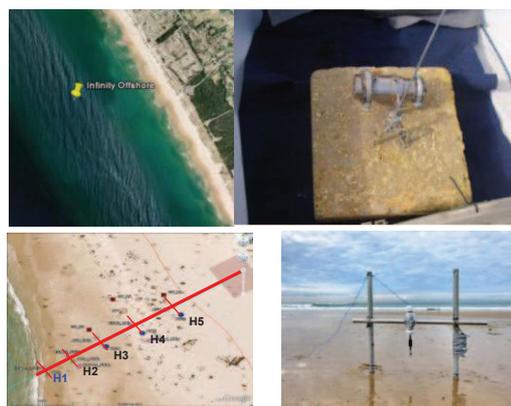


Fig. 3. Aspectos dos equipamentos: Praia da Cornélia: INFINITY (em cima); S. João da Caparica: ECM2 e PT2 (em baixo)

Nesta figura pode observar-se o equipamento INFINITY, denominado PT00, Figura 1, de coordenadas 38° 37' 27.89'' N, 9° 14' 1.46'' W, à cota -7.6 m (ZH) um dos pontos utilizados nas comparações aqui efetuadas com o modelo numérico SWAN. O tratamento dos dados foi realizado mediante análises temporal e espectral.

## 4. APLICAÇÃO DO MODELO SWAN

Nesta secção descreve-se a aplicação efetuada com o modelo SWAN para a zona em estudo, com vista a avaliar o desempenho do modelo. Compararam-se dados *in situ* com resultados do modelo numérico seguindo a seguinte metodologia:

- no ponto da boia P1, -30 m (ZH), para o período de 01.10.2007 a 16.11.2012, sem a consideração de um campo de ventos nos cálculos numéricos;
- no ponto do sensor de pressão PT00, -7.6 m (ZH) para o período de 12 a 15 de maio de 2010 (campanha 1), sem a consideração de campo de ventos nos cálculos numéricos;
- no ponto da boia P1, -30 m (ZH), para o período de 29 a 30 de outubro de 2012 (campanha 2), considerando um campo de ventos nos cálculos numéricos.

### 4.1 Condições iniciais

A execução do modelo SWAN requer a introdução de diferentes dados de base, referentes às variáveis

físicas que caracterizam a batimetria, a agitação ao largo, os ventos e as marés.

Consideraram-se como condições ao largo os estados de mar estimados pelo modelo de 3ª geração e propagação de ondas WaveWatch III, (Tolman, 1999). Estas estimativas são definidas pelos parâmetros HS, TP e DIR, obtidos a cada três horas, referentes ao período de 01.10.2007 até 16.11.2012, Poseiro (2013).

Relativamente aos ventos, e apenas para o período da campanha 2 (de 29 a 30 de outubro de 2012), utilizaram-se os dados de vento regionais a 10 m disponibilizados pela FNMOC através do modelo NOGAPS (Bayler, 1992) nas suas componentes horizontal (U) e vertical (V) e com uma resolução espacial de 1°. Foram considerados, no domínio de cálculo do SWAN, 4 pontos com dados de ventos.

Quanto ao nível de maré, este foi considerado variável, recorrendo aos valores fornecidos pelo marégrafo de Cascais, tendo estes já incluídos o valor da sobrelevação do nível do mar ou “*storm surge*”. Esta sobrelevação descreve a subida temporária do nível do mar como consequência das condições meteorológicas inconstantes, nomeadamente de variações no campo da pressão atmosférica e/ou da ação de ventos fortes e prolongados.

#### 4.2 Domínio Computacional e características das simulações

Foram ainda consideradas as seguintes condições de cálculo: a) Utilização da versão 40.72 do SWAN, sem correntes, em modo estacionário; b) Utilização de um espectro direcional em frequência de JONSWAP de 23 intervalos, de 0,04 a 2.0 Hz, com distribuição logarítmica e discretização em direção cobrindo 270°, dividida em 90 intervalos; c) Coeficiente de rebentação constante de 0.65; d) Utilização da forma espectral JONSWAP adaptada com parâmetro de atrito de fundo de  $0.067 \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$ . Estes valores são os indicados por defeito no manual do SWAN.

Os resultados foram obtidos em todo o domínio de cálculo e em pontos específicos, nomeadamente no ponto P1, com coordenadas geográficas 3° 37' 26" N, 9° 23' 10" W, onde se encontra o equipamento boia-ondógrafo *TRIAXYS*, com localização a oeste do Bugio, para os períodos de 01.10.2007 a 16.11.2012 e para o período de 29 a 30 de outubro de 2012 (considerando neste último período, um campo de ventos nos cálculos numéricos). Foram também obtidos resultados numéricos no ponto PT00, correspondente à posição do sensor de pressão na campanha 1, de 11 a 15 de maio de 2010.

Note-se que para uma utilização mais rápida e eficiente do modelo SWAN foi usada a interface de modelos SOPRO (Pinheiro *et al.*, 2007).

## 5. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DADOS IN-SITU E RESULTADOS NUMÉRICOS

Na Figura 4 apresenta-se a título de exemplo os valores de HS obtidos pelo modelo numérico e os dados *in situ*, para o período de 11 de fevereiro a 1 de abril de 2012.

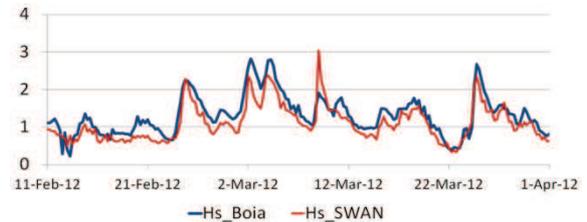


Fig. 4. Resultados SWAN e dados *in situ* de 11 de fevereiro a 1 de abril de 2012

Com base nos resultados obtidos pelo modelo numérico SWAN (HS, TP e DIR\_MED, direção média) em P1 e nos registos da boia, no período de 01.10.2007 a 16.11.2012, obtiveram-se os parâmetros estatísticos: média, erro médio quadrático (RMSE), índice de dispersão (SI) e desvio (BIAS) apresentados na Tabela 2. De igual forma, apresentam-se as mesmas estatísticas na Tabela 3 para os períodos das duas campanhas de obtenção de dados *in-situ*: campanha 2, de 29 e 30 de outubro de 2012, no ponto P1, e campanha 1, de 12 a 15 de maio de 2010, no ponto PT00. Aqui também se compara o período médio.

Tabela 2 – Estatísticas da comparação dos resultados obtidos pelo SWAN e os dados da boia, P1, de 01.10.2007 a 16.11.2012.

	Medições (P1)	SWAN	
HS (m)	1.275	1.490	Média
	0.348		RMSE
	0.273		SI
	0.216		BIAS
TP (s)	10.753	8.674	Média
	2.825		RMSE
	0.263		SI
	-2.079		BIAS
DIR_Med (°)	279	302	Média
	40.589		RMSE
	0.145		SI
	22.996		BIAS

Da análise da Figura 4, verifica-se que para o ponto P1 os resultados do modelo SWAN em termos de altura significativa HS seguem, em geral, o andamento da agitação real, medida na boia-ondógrafo. O mesmo se verificou para o período de pico e para a direção de onda, sendo, no entanto, mais evidentes as diferenças entre valores medidos e numéricos, principalmente para a direção da onda. Como se pode observar na Tabela 3, verifica-se que para a altura significativa e o período de pico, os desvios (BIAS) apresentados não são significativos; contudo, em termos de direção média (~23°) as diferenças já são relevantes. Os valores de RMSE e de SI também traduzem este melhor desempenho do

SWAN para os valores de HS face a TP e, por sua vez, face às direções de onda.

Tabela 3– Estatísticas resultantes da comparação dos resultados obtidos pelo modelo SWAN e os dados fornecidos pela boia, em P1, de 29 a 30 de outubro de 2012 e pelo sensor de pressão INFINITY no ponto PT00, de 12 a 15 maio de 2010.

	29 a 30 de outubro de 2012		12 a 15 de maio de 2010		
	Medições (P1)	SWAN	Medições (PT00)	SWAN	
HS (m)	0.930	0.661	0.206	0.266	Média
	0.295		0.172		RMSE
	0.317		0.8333		SI
	-0.269		0.060		BIAS
TP (s)	7.600	6.695	8.816	7.243	Média
	2.082		1.743		RMSE
	0.274		0.198		SI
	-0.905		-1.574		BIAS
TM02 (s)	4.138	3.078	8.449	6.718	Média
	1.396		1.814		RMSE
	0.337		0.215		SI
	-1.060		-1.731		BIAS
DIR_MEd (°)	251	241			Média
	46.236				RMSE
	0.184				SI
	-9.882				BIAS

Para a situação em que se efetuaram cálculos com ventos (29 a 30 de outubro de 2012), no ponto P1, o comportamento do modelo foi muito semelhante ao observado para os cálculos efetuados sem vento, podendo-se afirmar (com as devidas reservas) que é melhor para HS e TP (menores valores de RMSE).

Para o ponto PT00, à cota - 7.6 m (ZH), o comportamento do modelo é também semelhante ao dos dados medidos, i.e., o andamento geral dos valores numéricos acompanha o andamento dos medidos e as diferenças são menos significativas para a altura de onda do que para o período, como se poder constatar ao observar o baixo valor de RMSE.

## 6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como principal objetivo a análise do desempenho do modelo SWAN na praia de São João da Caparica, Costa da Caparica, Almada. O modelo SWAN é um dos modelos do sistema HIDRALERTA, que está a ser implementado para aquela região. Efetuou-se a comparação dos resultados numéricos do SWAN com dados obtidos *in-situ*, quer da boia ondógrafo da APL quer resultados das campanhas de campo medidos por um sensor de pressão PT1. Verificou-se uma boa concordância do modelo SWAN com as medições, tanto no andamento geral como na ordem de grandeza das alturas significativas e períodos de onda ao longo dos períodos em estudo, para os dois pontos. Em relação à direção de onda, o modelo, nesta região, não reproduz convenientemente a refração que se observa. A comparação dos resultados numéricos com os restantes dados medidos *in situ*, principalmente em profundidades

menores permitirão avaliar o desempenho do modelo nessa situação.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FCT pelo financiamento concedido ao projeto HIDRALERTA, ref. PTDC/AAC-AMB/120702/2010, à Eng<sup>a</sup> Patrícia Neves e ao Prof. J. Antunes do Carmo, da Universidade de Coimbra, pelo seu contributo com o trabalho já desenvolvido na área de estudo, e à Eng<sup>a</sup> Teresa S. Pereira, da APL, pela cedência dos dados da boia. Agradecem também aos elementos do NEC (LNEC, Dra. Paula Freire, Eng<sup>os</sup> André Fortunato e Francisco Sancho), UNL (Prof. José Carlos Ferreira), UAlg (Prof. Óscar Ferreira) e à FCUL (Profs. Rui Taborda e J. Cascalho) pela cedência de equipamentos nas campanhas e, finalmente, ao Sr. Carlos Manuel, do Restaurante-bar Pé-Nu, pela cedência de espaço para instalação de equipamentos e colaboração nas campanhas.

## REFERÊNCIAS

- Bayler, G. and H. Lewit. (1992). The Navy Operational Global and Regional Atmospheric Prediction System at the Fleet Numerical Oceanography Center, Weather and Forecasting, Vol. 7, No. 2, June.
- Booij, N., Ris, R.C. e Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. J. Geog. Res., C4,104, 7649-7666.
- Fortes, C.J.E.M.; Reis, M.T.; Poseiro, P.; Capitão, R.; Santos, J.A.; Pinheiro, L.P.; Rodrigues, A.; Sabino, A.; Rodrigues, M.C.; Raposeiro, P.D.; Ferreira, J.C.; Silva, C.; Simões, A.; Azevedo, E.B. (2013). O Projeto HIDRALERTA - Sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias. 8<sup>as</sup>JPECP, AIPCN/PIANC, 10 e 11 de outubro.
- Neves, P. (2013). Avaliação do risco de inundação da zona da Costa da Caparica. Dissertação Mestrado, FCTUL, 120p.
- Pinheiro, L., Fortes, C.J.E.M., Santos, J.A., Fernandes, L. e Walkley, M. (2011). Boussinesq-type numerical model for wave propagation near shore and wave penetration in harbors. MARTECH 2011, 10 a 12 de maio, Lisboa.
- Poseiro, P. (2013). Procedimentos para a execução do sistema HIDRALERTA: Desenvolvimento de aplicações em Python. Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas - LNEC. Lisboa. ([https://sites.google.com/site/pedroposeiro/docs/Report\\_Hidralerta\\_Pedro\\_23052013.pdf](https://sites.google.com/site/pedroposeiro/docs/Report_Hidralerta_Pedro_23052013.pdf))
- Tolman, H., 1999. User Man. and Syst. Doc. WAVEWATCH-III.