



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

### COMPARAÇÕES ENTRE OS MODELOS SWAN E STWAVE NA ÁREA COSTEIRA DE ÓBIDOS

*Marta Gonçalves, Eugen Rusu e C. Guedes Soares*

Centro de Engenharia e Tecnologia Naval (CENTEC),

Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal

[marta.goncalves@mar.ist.utl.pt](mailto:marta.goncalves@mar.ist.utl.pt); [eugen.rusu@mar.ist.utl.pt](mailto:eugen.rusu@mar.ist.utl.pt); [guedess@mar.ist.utl.pt](mailto:guedess@mar.ist.utl.pt).

#### Resumo

O objectivo deste trabalho é a comparação entre o desempenho de dois modelos em média de fase, o SWAN (Booj et al., 1999) e o STWAVE (Smith et al., 2001). A zona escolhida para o estudo foi a área de Óbidos, localizada na costa oeste de Portugal, a Norte de Peniche e a Sul da Nazaré, apresentando uma orientação NW-SE e uma batimetria bastante irregular. Para o estudo foram ainda considerados os resultados fornecidos por três equipamentos de medição de ondas: ADCP, WTR9 e uma bóia ondógrafo, provenientes de um estudo anterior de Soares et al., 2002.

A descrição teórica dos modelos demonstra que ambos são baseados na equação de equilíbrio da acção espectral, com a diferença que no SWAN essa equação é expressa em termos das coordenadas cartesianas (ou em alternativa em coordenadas esféricas, para áreas maiores), enquanto a no STWAVE a propagação ocorre ao longo do raio da onda.

Foram realizadas comparações das distribuições espaciais dos principais parâmetros da onda, com base nos resultados obtidos pelos dois modelos. No domínio do tempo foram realizadas comparações para o período de 7-31 de Março de 2002. Os dados de entrada para ambos os modelos são referentes à bóia de Leixões, tendo em conta algumas correcções efectuadas para as diferenças de latitudes no que respeita à localização da bóia e à fronteira ao largo do domínio computacional.

O presente estudo fornece informações relevantes sobre o desempenho dos dois modelos, assim como sobre a precisão dos resultados obtidos para a zona costeira Portuguesa, admitindo diferentes condições.

Além da sua simplicidade, uma vantagem trazida pelo modelo STWAVE é o facto de não introduzir efeitos das condições de fronteira, como acontece no modelo SWAN, para estas simulações do tipo "nowcast". Tal deve-se ao facto do STWAVE considerar propagação ao longo do raio de onda o que é bastante eficaz para situações estacionárias. O mesmo não acontece em situações não estacionárias, devido as dificuldades na integração dos termos que representam as fontes no domínio do tempo, pelo que no modelo SWAN não foi utilizado este tipo de esquema.

**Palavras-chave:** Transformação de ondas, STWAVE, SWAN, modelos espectrais, Óbidos.



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

### Introdução

Cada vez é mais importante uma boa caracterização da agitação marítima ao longo da costa Portuguesa. Para tal são utilizados diversos equipamentos oceanográficos que tomam possível esses estudo, que estando localizados em pontos estratégicos permitem uma observação em tempo real dos diversos parâmetros de agitação marítima, servindo estes dados obtidos para validar e calibrar as simulações que são realizadas utilizando vários modelos numéricos.

Actualmente os modelos baseados no conceito espectral ou modelos em média de fase são os mais eficazes para estimar as condições da agitação marítima no oceano e em ambientes costeiros.

Os modelos de terceira geração são modelos que permitem resolver a equação de balanço de energia espectral e dar uma estimativa realista da evolução do espectro de onda para diversas condições. Estes podem ser divididos em modelos de geração como o WAM (WAMDI Group, 1988) e o WW3 (Tolman, 1999), e modelos de transformação como SWAN (Booj et al., 1999) e STWAVE (Smith et al., 2001).

No âmbito do projecto HIPOCAS (Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe) foram realizados estudos com o modelo WAM (Guedes Soares et al., 2002; Guedes Soares, 2008), para produzir 44 anos de agitação marítima em águas europeias (Pilar et al., 2008).

Nos últimos anos têm sido realizados vários estudos sobre agitação marítima, com base nos modelos SWAN e STWAVE, para o Oceano Atlântico e junto à costa de Portugal continental. Diversos estudos foram realizados com base no modelo SWAN para a costa portuguesa, Guedes Soares et al. (2004), Rusu et al. (2005), Rusu et al. (2008).

Simulações com o STWAVE foram também realizadas por Mendonça et al. (2005) num estudo para o porto de Leixões, com o objectivo de descrever a variação dos parâmetros da onda (altura, período, direcção e forma espectral) entre o largo e a costa.

Embora os SWAN e o STWAVE sejam modelos costeiros bastante populares, poucas são as comparações entre os dois modelos disponíveis no domínio publico, provavelmente, as mais relevantes seriam o relatório feito por Kelly et al. (1999), relativo às duas primeiras versões dos modelos, e as obras de Allard et al. (2004) e Smith (2006), para os mais recentes lançamentos.

Neste contexto, para além de uma análise comparativa das formulações teóricas entre o SWAN e o STWAVE, o objectivo do presente trabalho é fazer comparações, em ambos os domínios de espaço e tempo, utilizando também resultados de medições de vários equipamentos.

A área escolhida para este estudo é a zona costeira de Óbidos. Para este estudo foram consideradas as medições fornecidas pelas bóias ondógrafo de Óbidos e Leixões que também foram utilizadas num estudo prévio de Soares et al. (2002).

### Características dos Modelos

A filosofia dos dois modelos é muito semelhante. Ambos são modelos de terceira geração focalizados na transformação das ondas e baseados na equação de balanço de energia espectral, apesar de apresentarem algumas diferenças nas equações de governo e em algumas formulações para os termos de fontes.

No que respeita ao SWAN, o modelo tem incluído efeitos de propagação espacial, refração, empolamento por efeito da batimetria (shoaling), geração, dissipação e interações não lineares



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

onda-onda. É um modelo que permite ao utilizador trabalhar tanto em coordenadas cartesianas como em coordenadas esféricas, pode ainda correr, quer em modo estacionário, quer em modo não estacionário.

O STWAVE é o modelo de propagação da agitação desenvolvido pelo US Army Corps of Engineers (Smith et al. 2001), e inclui a simulação dos fenómenos de difracção, refracção e empolamento por efeito da batimetria e da interacção com correntes, e geração de ondulação por acção do vento. O modelo considera, ainda, a simulação dos processos de rebentação e da interacção onda-onda e rebentação da onda (whitecapping), responsáveis pela redistribuição e dissipação de energia num campo de ondas em desenvolvimento. Este modelo está portanto vocacionado para modelar a propagação e transformação das ondas em ambientes costeiros.

Nos modelos em média de fase a evolução do espectro de onda no tempo e no espaço é dada pela equação de balanço de energia (Holthuijsen, 2007):

$$\frac{DN}{Dt} = \frac{S}{\sigma} \quad (1)$$

onde  $N$  representa a densidade de acção e  $S$  a fonte total, definida como a soma de todas as fontes, representando processos de geração do vento, dissipação, inteirações não lineares em águas profundas, (quadrupletos) e em águas de profundidade finita (triades, fricção com o fundo e rebentação).

$$S_{total} = S_{in} + S_{dis} + S_{nl} + \underbrace{S_{bf} + S_{br} + S_{tri} + \dots}_{\text{processos em profundidade finita}} \quad (2)$$

A frequência relativa ou intrínseca está dependente do número de onda ( $\vec{k}$ ) através da relação da dispersão:

$$\sigma = \sqrt{gk \cdot \tanh kd} \quad (3)$$

onde  $g$ , e  $d$  representam a aceleração gravítica e a profundidade, respectivamente.

Considerando a presença de corrente, com velocidade  $\vec{U}$ , então a frequência absoluta ( $\omega$ ) é dada por:

$$\omega = \sigma + \vec{k}\vec{U} \quad (4)$$

Em aplicações costeiras as simulações com SWAN são feitas em coordenadas cartesianas e assim sendo temos que a equação de balanço é dada por:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \dot{x}N + \frac{\partial}{\partial y} \dot{y}N + \frac{\partial}{\partial \sigma} \dot{\sigma}N + \frac{\partial}{\partial \theta} \dot{\theta}N = \frac{S}{\sigma} \quad (5)$$

sendo  $C_{gx} = \dot{x}$ ,  $C_{gy} = \dot{y}$ ,  $C_{\sigma} = \dot{\sigma}$ ,  $C_{\theta} = \dot{\theta}$  as velocidades de propagação do espectro no espaço geográfico, das frequências e direccional, respectivamente. Os termos do lado esquerdo correspondem aos termos cinemáticos. O primeiro termo escreve a evolução da acção de densidade espectral, o segundo e terceiro termo correspondem à propagação da energia num espaço geográfico a duas dimensões, o quarto termo representa a deslocação ou variação da frequência angular devido a efeito do fundo e correntes e por fim o quinto termo representa a refracção sofrida pela onda devido a efeitos do fundo e de corrente.

O modelo STWAVE resolve a equação de conservação da acção espectral da onda em estado estacionário ao longo do raio da onda:



$$(C_g)_i \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{CC_g \cos(\mu - \alpha) E(\omega, \alpha)}{\sigma} = \sum \frac{S}{\sigma} \quad (6)$$

onde  $\omega$  é a frequência angular relativa,  $C$  é a velocidade absoluta de fase das ondas,  $C_g$  é a velocidade de grupo absoluta das ondas,  $E$  é a densidade energética da onda dividida por  $(\rho w g)$  em que  $\rho w$  é densidade da água,  $S$  representa fontes e sumidouros, e  $\alpha$  é a direcção de propagação da onda, i.e., normal à crista. A interacção entre ondas e correntes é considerada num referencial em movimento com a corrente.

A relação de dispersão das ondas calculadas para ambos os referenciais é dada por:

$$\sigma = \sqrt{gk \tanh(kd)} \quad (7)$$

$$\omega = \sigma + kU \cos(\delta - \alpha) \quad (8)$$

onde  $g$ ,  $k$  e  $d$  representam a aceleração gravítica, o número de onda e a profundidade, respectivamente. No referencial absoluto,  $U$  é a velocidade da corrente,  $\delta$  é a direcção da corrente em relação ao referencial fixo.

As soluções para a refacção e empolamento da onda necessitam também da velocidade da onda e da velocidade de grupo de onda calculadas para ambos os referenciais:

$$C_r = \frac{\sigma}{k} \quad (9)$$

$$C_g = 0.5C_r \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (10)$$

No referencial absoluto as velocidades são dadas por:

$$C_a = C_r + U \cos(\delta - \alpha) \quad (11)$$

$$(C_{ga})_i = (C_{gr})_i + (U)_i \quad (12)$$

onde o índice  $i$  representa as componentes  $x$  e  $y$ .

A velocidade de grupo absoluta das ondas define a direcção do raio da onda ( $\mu$ ):

$$\mu = \tan^{-1} \left( \frac{C_{gr} \sin \alpha + U \sin \delta}{C_{gr} \cos \alpha + U \cos \delta} \right) \quad (13)$$

Os fenómenos de refacção e empolamento são implementados no STWAVE através da aplicação da equação de conservação da acção da onda ao longo dos raios de onda traçados.

A difracção ocorre habitualmente quando as ondas encontram um obstáculo à superfície como um cabo ou uma ilha. A penetração das ondas na área de abrigo é devida às modificações que acontecem no comprimento da onda. Muitas vezes os efeitos combinados da reflexão e difracção são importantes de não podem ser negligenciados.

Assim para considerar a combinação destes dois efeitos, adopta-se uma aproximação baseada na equação do declive suave Esta equação foi introduzida inicialmente por Berchhoff (1972), é uma equação diferencial de tipo elíptico deduzida para as ondas monocromáticas e tem a expressão:

$$\nabla(CC_g \nabla \eta) + k^2(CC_g \nabla \eta) = 0 \quad (14)$$



onde  $\eta(x,y)$  é a elevação da superfície.

Para introduzir no modelo SWAN o processo da difracção é considerada uma aproximação desacoplada de fase para refracção - difracção, (Holthuijsen et al., 2003). Esta é baseada na equação do declive suave omitindo informações de fase. As velocidades no espaço geográfico e no direccional, não consideram a difracção,  $c_{x,o}$ ,  $c_{y,o}$ ,  $c_{\theta,o}$  sendo dadas por:

$$\begin{aligned} C_{x,o} &= \frac{\partial \omega}{\partial k} \cos \theta, \quad C_{y,o} = \frac{\partial \omega}{\partial k} \sin \theta \\ C_{\theta,o} &= -\frac{1}{k} \frac{\partial \omega}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial n} \end{aligned} \quad (15)$$

onde  $k$  corresponde ao número de onda e  $n$  é à direcção perpendicular ao raio da onda. O parâmetro da difracção  $\delta$  é dado por:

$$\delta = \frac{\nabla \left( c c_g \nabla \sqrt{E} \right)}{c c_g \sqrt{E}} \quad (16)$$

onde  $E(x,y)$  é a energia total do campo de onda ( $\sim H_s^2$ ). Devido à difracção as velocidades de propagação passam a ser:

$$\begin{aligned} c_x &= c_{x,o} \bar{\delta}, \quad c_y = c_{y,o} \bar{\delta} \\ c_\theta &= c_{\theta,o} \bar{\delta} - \frac{\partial \bar{\delta}}{\partial x} c_{y,o} + \frac{\partial \bar{\delta}}{\partial y} c_{x,o} \end{aligned} \quad (17)$$

No STWAVE o fenómeno da difracção é implementado através de uma expressão que homogeneiza a energia da onda.

$$E_j(\omega_a, \alpha) = 0.55 E_j(\omega_a, \alpha) + 0.225 \left[ E_{j+1}(\omega_a, \alpha) + E_{j-1}(\omega_a, \alpha) \right] \quad (18)$$

onde  $E$  é a densidade energética da onda, e o índice  $j$  indica a linha. Esta equação possibilita a suavização de fortes gradientes da altura da onda em zonas protegidas, mas não produz a rotação da onda.

## Caso de Estudo

Esta experiência foi realizada numa zona costeira a oeste de Portugal na área de Óbidos tal como o estudo de Soares et al. (2002). A Lagoa de Óbidos fica localizada na costa oeste de Portugal (Figura 1), a Norte de Peniche e a Sul da Nazaré, apresentando uma orientação NW-SE.

Para o estudo foram considerados três equipamentos de medição de ondas: ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), WTR9 (sensor de pressão) e uma bóia ondógrafo. Os três equipamentos estão localizados na batimetria dos 20 metros, distanciados entre si de 400 metros. A posição destes equipamentos está assinalada na Figura 2.

Os dados apresentados resultam da comparação entre os dados das medições dos três equipamentos, na área de Óbidos. Apresentam-se dados de altura significativa, período da onda (período do pico e período médio) e direcção da onda relativos aos três equipamentos, no período de 7 a 31 de Março de 2002 (Figura 3).

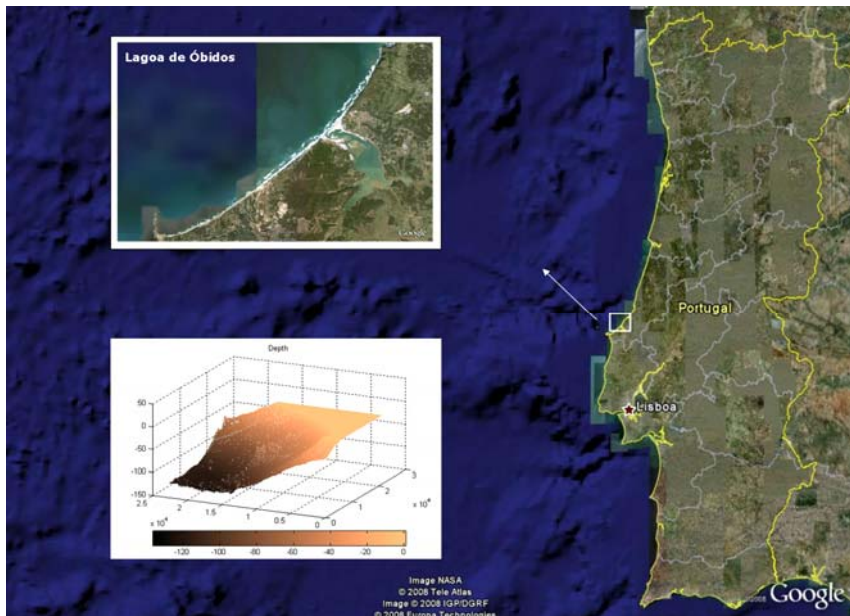


Figura 1 - Localização e Batimetria da área da Lagoa de Óbidos

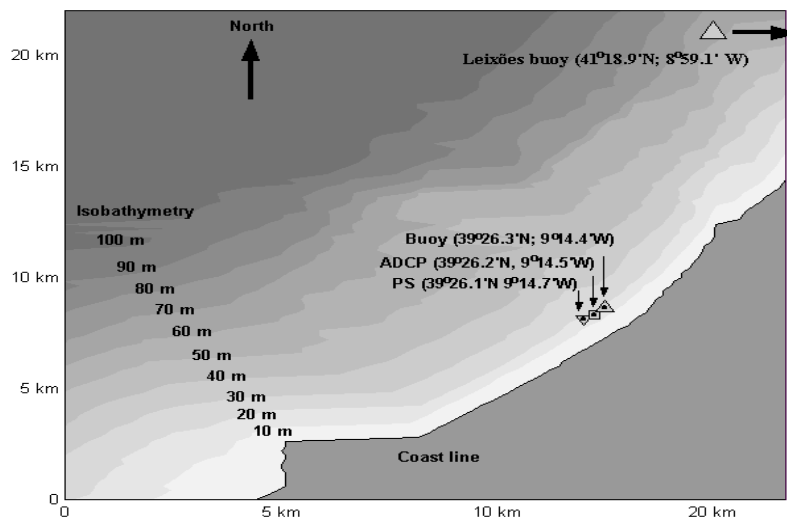


Figura 2 - Área de estudo e localização dos equipamentos

Apresentam-se também resultados das comparações entre as bóias de Leixões e Óbidos, referentes a alturas significativas, período, direcção e dispersão em direcção para o período de 7 a 31 de Março de 2002 (Figura 4).

Os dados correspondem a intervalos de 3 horas que corresponde ao intervalo de recolha de dados da Bóia de Óbidos, que é o intervalo maior em comparação com os restantes equipamentos (WTR9-30min; ADCP – hora/hora).

Na Figura 3-a) estão representadas as séries temporais de Hs (altura significativa) para os três equipamentos. Verifica-se uma concordância entre os dados a Bóia de Óbidos e o ADCP enquanto os dados do WTR) são sempre inferiores. Na Figura 3 **Figura 3** estão representadas as séries

temporais de  $T_p$  (Período do pico) entre a Bóia de Óbidos e o ADCP, verifica-se que de um modo geral os valores são concordantes, apresentando algumas discrepâncias. Na Figura 3-c) estão representadas as séries temporais de  $T_m$  (período médio) entre a Bóia e o WTR9. Na Figura 3-d) estão representadas as direcções dadas pela Bóia e pelo ADCP, e pode-se observar que as diferenças são de modo geral inferiores a  $20^\circ$ .

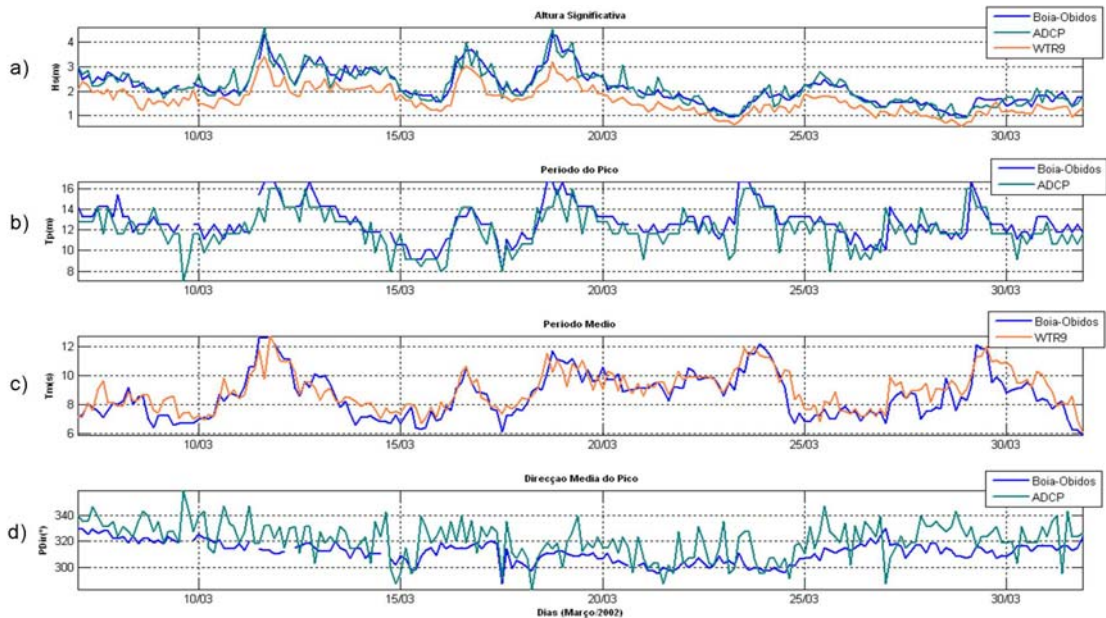


Figura 3 – Resultados dos equipamentos (ADCP,WTR9,Bóia Óbidos)

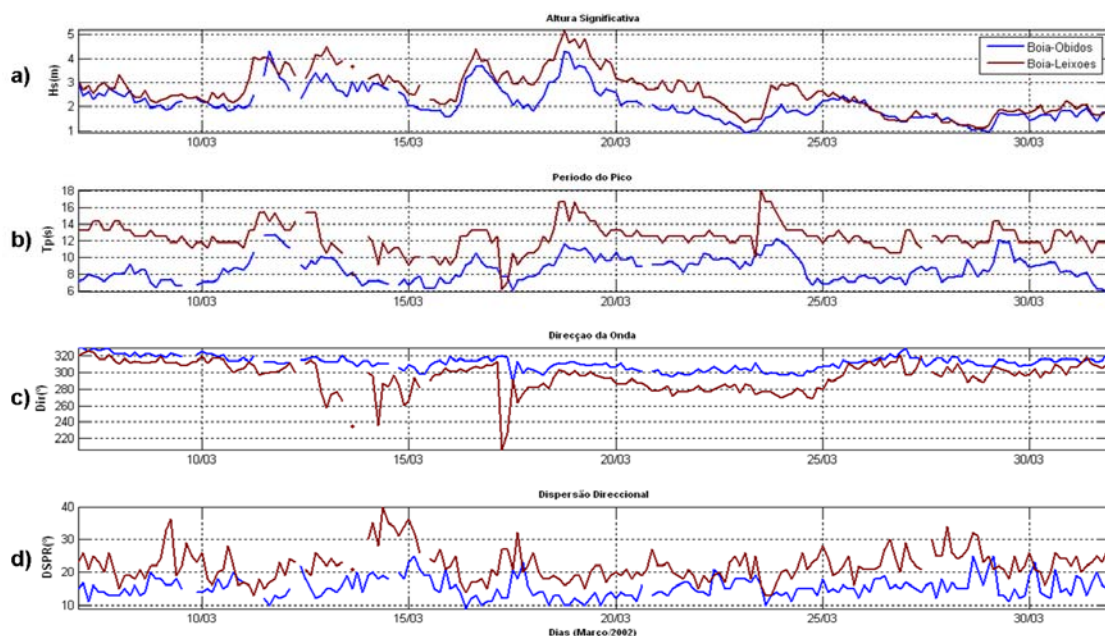


Figura 4 – Resultados dos equipamentos (Bóia Óbidos, Bóia Leixões)



Relativamente às comparações entre a Bóia de Leixões com a Bóia de Óbidos (Figura 4), os resultados mostram uma boa concordância em fase, dos vários parâmetros analisados, sugerindo assim que a Bóia de Leixões, localizada em águas mais profundas, possa ser utilizada como condições de fronteira para o estudo na área costeira de Óbidos.

### Comparações no domínio do tempo

As simulações resultam da utilização em paralelo dos dois modelos (SWAN e STWAVE) considerando o domínio computacional indicado na Figura 5.

A zona escolhida para a validação dos modelos encontra-se localizada de 39.38°N a 39.57°N e de 9.41°W a 9.16°W, na costa oeste de Portugal, sendo a batimetria representada na Figura 5.

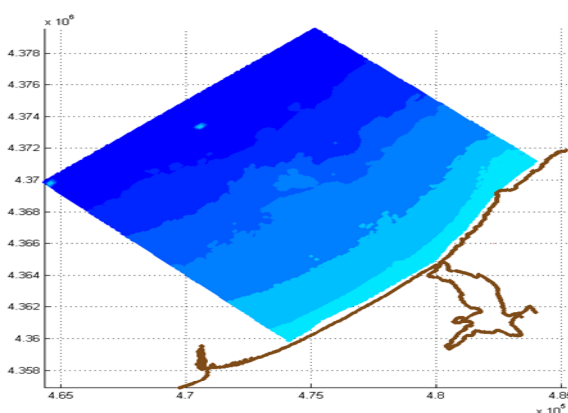


Figura 5 – Batimetria da zona de estudo.

Dado que o modelo STWAVE utiliza apenas uma condição de fronteira (condição de fronteira W), e requer que as linhas de nível da batimetria sejam paralelos a costa, procedeu-se a uma rotação de -45° na batimetria. A mesma malha foi utilizada para as simulações com o modelo SWAN.

Na Tabela 1 estão algumas das características do domínio da grelha utilizada para os dois modelos.

Tabela 1 - Características do domínio da grelha.

Domínio computacional	Coordenadas	$\Delta x * \Delta y$	$n_f$	$n_\theta$
SWAN	Cartesianas	155x151	35	36
STWAVE	Cartesianas	155x151	30	35

Para o estudo foi utilizada a bóia de Leixões para fornecer os dados de entrada para os modelos SWAN e STWAVE, sendo que as medições da bóia de Óbidos foram utilizadas para validar os resultados dos modelos. São comparados dados de Altura Significativa, Período do Pico e Direcção Média para o período de 7 a 31 de Março de 2002.

A Figura 6 resulta da comparação directa da Bóia de Óbidos com o modelo STWAVE, podendo observar-se que existem algumas discrepâncias entre os valores dos principais parâmetros das ondas. A partir destes resultados foram calculados os valores necessários para corrigir os dados



de entrada (Altura Significativa e Direcção Média) dos modelos para as próximas simulações. O valor da correcção utilizado para a Altura Significativa foi de -0,238m e para a Direcção Média de 7,8°. Estes valores resultaram da diferença entre os valores simulados e os valores medidos.

A comparação entre os resultados simulados após a correcção está apresentada na Figura 7. Verifica-se um melhoramento dos resultados em termos de Altura Significativa e Direcção Média.

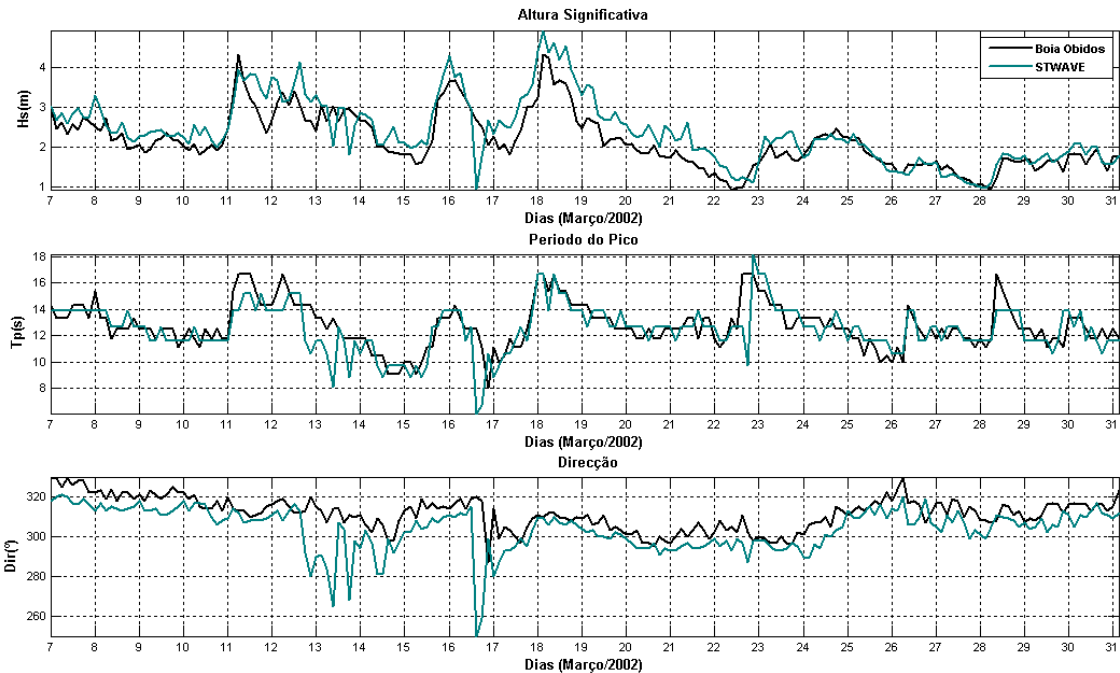


Figura 6 - Comparação dos dados de Hs, Tp e Dir entre a Bóia de Óbidos e o STWAVE.

### Resultados Estatísticos

As simulações realizadas com os modelos SWAN e STWAVE foram validadas com os dados das medições das bóias ondógrafo de Óbidos.

Os parâmetros estatísticos calculados para caracterizar o desempenho do modelo para a Altura Significativa e Direcção Média são o *Bias* (enviesamento), o *RMSE* (erro quadrático médio), o *SI* (índice de dispersão) e o *r* (coeficiente de correlação) e são calculados de acordo com as seguintes relações:

$$X_{med} = \tilde{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}}$$

$$SI = \frac{RMSE}{\tilde{X}}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \tilde{X})(Y_i - \tilde{Y})}{\left( \sum_{i=1}^n (X_i - \tilde{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \tilde{Y})^2 \right)^{1/2}}$$

onde  $X_i$  corresponde às medições das bóias e  $Y_i$  corresponde às simulações com os modelos SWAN ou STWAVE.

Apresentam-se os resultados estatísticos na Tabela 2 e na Figura 8 ilustrando as dispersões da Altura Significativa e Direcção Média correspondente à Bóia de Óbidos.

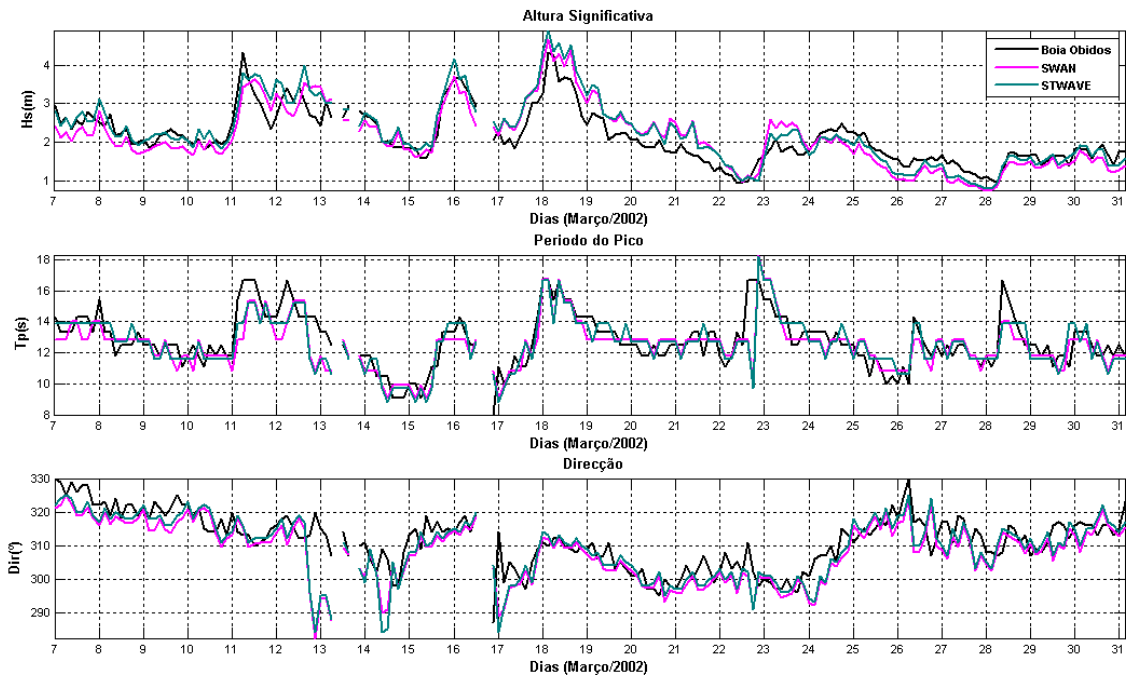


Figura 7 - Comparação dos dados de Hs, Tp e Dir entre a Bóia de Óbidos e os modelos SWAN e STWAVE após a correcção dos dados de entrada dos modelos.

Tabela 2- Resultados estatísticos para a Altura Significativa e Direcção Média.

	Xmed	Ymed	Bias	RMSE	SI	r	N
Hs (m) SWAN	2,137	2,129	0,007	0,398	0,186	0,868	190 Valores
Hs (m) STWAVE	2,137	2,259	-0,123	0,371	0,174	0,868	190 Valores
Dir (°) SWAN	311,579	308,171	3,407	7,054	0,023	0,729	190 Valores
Dir (°) STWAVE	311,579	309,300	2,279	6,941	0,022	0,714	190 Valores

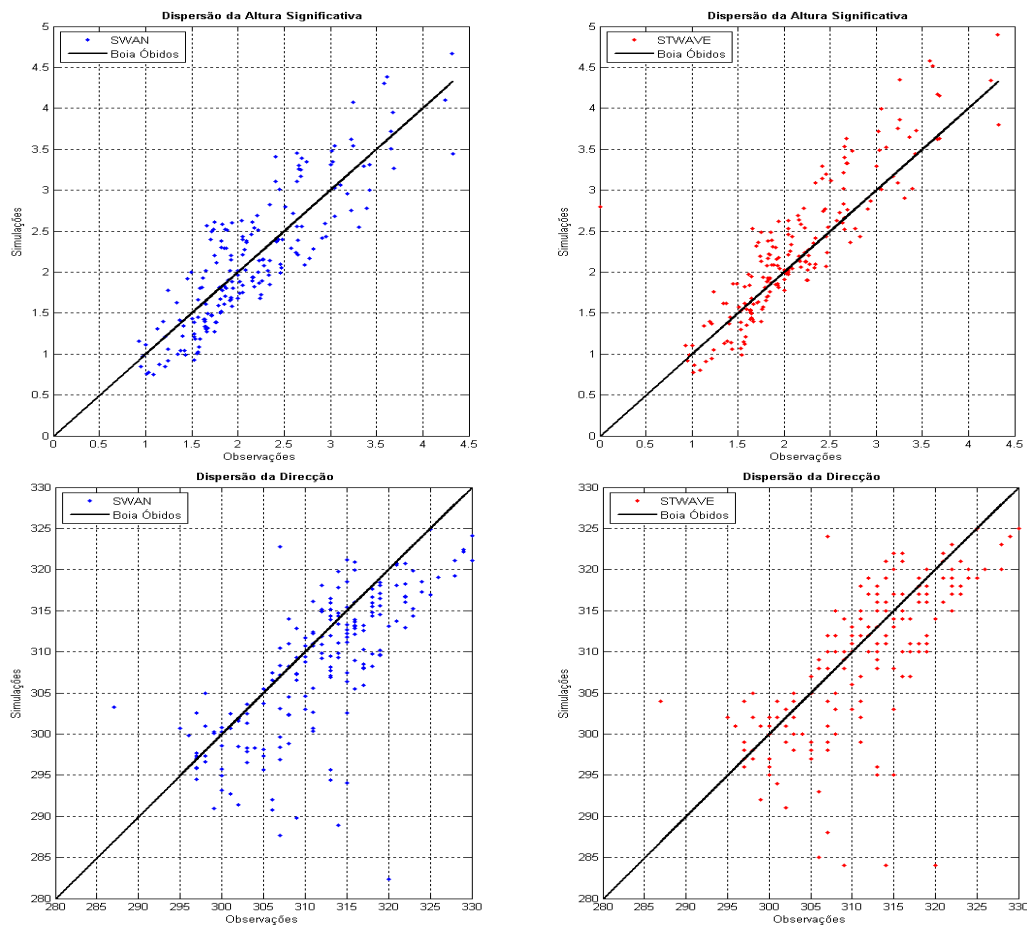


Figura 8 - Dispersão da Altura Significativa e da Direcção Média para os modelos SWAN (lado esquerdo) e STWAVE (lado direito).

### Discussão dos Resultados

Na Figura 6 verifica-se que existem algumas discrepâncias entre os resultados, pelo que se procedeu a uma correcção relativamente a Altura Significativa e à Direcção Média. Verifica-se um melhoramento das simulações do STWAVE após a correcção, assim como pode ser observado da comparação das séries temporais das simulações e medições ilustradas na Figura 7.

De acordo com os resultados da Tabela 2, verifica-se que após a correcção dos dois parâmetros, o modelo STWAVE continua a supra estimar a Altura Significativa. Relativamente à Direcção Média, verifica-se que os valores se aproximam das medições, sendo a diferença reduzida para 2,279°.

Quanto aos resultados dos dois modelos, podemos observar que são semelhantes, o que se pode também verificar através dos resultados estatísticos. Para a Altura Significativa, o RMSE, SI e r apresenta valores muito próximos. Os valores do BIAS indicam que o modelo SWAN subestima ligeiramente as medições (BIAS positivo de 0,007m), ao passo que o modelo STWAVE supra estima as medições (BIAS negativo de -0,123m). Para a Direcção Média o r apresenta melhores resultados para o modelo SWAN enquanto os outros parâmetros estatísticos o STWAVE apresenta melhores resultados.



## **Conclusões**

Tanto o SWAN como o STWAVE são modelos de terceira geração focalizados na transformação das ondas e baseados na equação de balanço de energia espectral, apesar de apresentarem algumas diferenças nas equações de governo e em algumas formulações para os termos de fontes.

O SWAN é um modelo mais complexo uma vez que apresenta uma maior variedade de opções, é um modelo que permite ao utilizador trabalhar tanto em coordenadas cartesianas como em coordenadas esféricas, podendo ainda correr, quer em modo estacionário, quer em modo não estacionário. O modelo considera ainda alguns processos físicos não incluído no STWAVE como as interações entre três ondas e atrito no fundo. Apresenta também, maior flexibilidade relativamente a dimensão do domínio computacional, podendo ser aplicado tanto em zonas costeiras como em escalas oceânica.

Por outro lado, o STWAVE considera os principais processos costeiros como, refração, difracção, input constante de vento, interações onda-corrente e rebentamento da onda, sendo por isso vocacionado para modelar a propagação e transformação das ondas em ambientes costeiros. Por ser um modelo em média de fase, a propagação das ondas dá-se sempre do em direcção perpendicular à costa (as ondas que são reflectida pela costa ou por fundos mais baixos são negligenciadas bem como ondas que se propaguem na direcção dos xx).

Uma vantagem do STWAVE face ao SWAN é o facto de os efeitos induzidos pelas condições de fronteira serem reduzidos devido a propagação da ondulação ser feita ao longo do raio de onda, o que não se verifica no SWAN.

Com base neste estudo, podemos concluir que tanto o SWAN, como o STWAVE apresentam bons resultados. Apesar de mais simples, o STWAVE é um modelo espectral eficiente que não requer muitos recursos computacionais e com resultados bastante bons quando comparados com outro modelo.

## **Reconhecimento**

O presente trabalho foi feito no âmbito do projecto NEARPORT (Desenvolvimento de um sistema operacional de previsão em tempo real da agitação marítima para os portos portugueses) que é financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/ECM/64373/2006).

## **Referências**

Allard, R., Rogers, W., E., Carroll, S. and Rushing, K., V., (2004). Validation Test Report for the Simulating Waves Nearshore Model, Report Naval Research Laboratory, Stennis Space Center, NRL/FR/7322-04-10,070.

Booij, N., Ris, R. C. and Holthuijsen, L. H., (1999). A third generation wave model for coastal regions. Part 1: Model description and validation, J. Geophys. Res. 104, C4, pp. 7649-7666.

Costa, M., Silva, R., Vitorino, J., (2001), Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa Portuguesa, II Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Sines



**6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária**  
**Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009**

Guedes Soares, C., Weisse, R., Carretero J.C. and Alvarez, E., (2002). A 40 years Hindcast of Wind, Sea Level and Waves in European Waters, Proceedings of the 21st International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE'02), ASME Paper OMAE2002-SR28604.

Guedes Soares, C., Rusu, L. and Pilar, P., (2004). Reconstituição da Agitação Marítima Junto à Costa de Portugal Continental, "As Actividades Marítimas e a Engenharia", C. Guedes Soares e V. Gonçalves de Brito (Eds), Edições Salamandra, pp.73-82.

Guedes Soares, (2008). Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe, Coastal Engineering, vol. 55, pp 825-826.

Kelley, S., W., Ramsey, J., S. and Byrnes, M., R., (1999). Comparison of Numerical Spectral Wave Transformation Models for Evaluating the Physical Environmental Impacts of Offshore Sand Mining, Technical Report Applied Coastal Research and Engineering, Inc. for U.S. Office of International Activities and Marine Minerals (INTERMAR)

Mendonça, A., Teixeira, A.T., Oliveira, I.M., Silva, A.P., (2005), Caracterização das condições de tranquilidade na zona de entrada no porto de Leixões face a ondas de período curto (10 a 18s), acta das 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Angra do Heroísmo, (cd-rom).

Oliveira, F.S.B.F., (2006), Numerical modeling of deformation of multi-directional random waves over a varying topography, Ocean Engineering, vol. 34, pp 337-342.

Oliveira, F.S.B.F., Freire, P.M.S., (2002), Laranjeiro, S.H.C.D; Characterization of the dynamics of Figueira da Foz beach, Portugal; Journal of Coastal Research, SI 36, pp 552-563

Pilar, P., Guedes Soares, C., Carretero, J.C., (2008), 44-year wave hindcast for the North East Atlantic European coast, Coastal Engineering, vol. 55, pp 861-871.

Rusu, L., Pilar, P., and Guedes Soares, C., (2005). Hindcasts of the Wave Conditions in Approaches to Ports of the North of Portugal, Proceedings Fifth International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis (WAVES 2005), Madrid, Spain, (cd-rom).

Rusu, L., Pilar, P., Guedes Soares, C., (2008). Hindcast of the wave conditions along the west Iberian coast, Coastal Engineering, vol. 55, pp 906-919.

Smith, J., Sherlock, A., Resio, D., (2001), STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model. User's Manual for STWAVE, Version 3.0; ERDC/CHL, US Army Corps of Engineers; Washington, DC

Smith, J. M., (2006). Modeling Nearshore Waves for Hurricane Katrina, Proc. the 9th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Victoria, Canada, September, 2006, CD edition.

Soares, C.V., Rusu, E., Santos, L.Q., Pires Silva, A.A. and Makarynsky, O., 2002: Coastal Wave Modeling Validation Using New Field Techniques. Presented at the 7th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Banff, Alberta, Canada 21-25 October, Meteorological Service of Canada, pp. 361-372.

Tolman, H. L., (1999). User manual and system documentation of WAVEWATCH III, Tech. Note 166, NOAA/NWS/NCEP/OMB, 99 pp.

WAMDI group, (1988). The WAM model - a third generation ocean wave prediction model, J. Phys.Oceanogr., 18, 1775-1810.