



## VERIFICAÇÃO DO MODELO SWAN COM DADOS ADCP NA COSTA OESTE PORTUGUESA

**António Alberto Pires Silva**

Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico  
Av. Rovisco Pais 1049-001, Lisboa

**Oleg Makarynsky<sup>1</sup>**

Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico  
Av. Rovisco Pais 1049-001, Lisboa

**Carlos Ventura Soares**

Divisão de Oceanografia, Instituto Hidrográfico, Marinha  
Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa

**Emanuel Ferreira Coelho**

Divisão de Oceanografia, Instituto Hidrográfico, Marinha  
Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa

### SUMÁRIO

A presente comunicação visa comparar simulações numéricas da propagação da agitação marítima junto à costa, com medições de alta qualidade, obtidas com um perfilador acústico por efeito Doppler (ADCP), fundeado a 17m (ZH). As simulações provêm de um modelo espectral de média em fase, de 3ª geração, desenvolvido na Universidade Técnica de Delft (TUDelft). No modelo SWAN (Simulating Waves Nearshore) a equação de balanço da densidade espectral de energia é resolvida numa malha regular, em coordenadas eulerianas. Os termos fonte e sumidouro da equação traduzem a acção dos processos físicos que modificam as ondas de superfície geradas pelo vento, em águas pouco profundas.

O ADCP esteve localizado frente à praia de Pinheiro da Cruz, situada, sensivelmente, a meio do arco Sado-Sines. O sensor tem capacidade para registar as componentes horizontais das velocidades orbitais das partículas de fluido, induzidas pela passagem da onda, bem como a oscilação da superfície livre do mar. Com esta informação é possível estimar o espectro direccional de agitação, e, conseqüentemente, parâmetros integrais de interesse.

Ao largo, o modelo é forçado com os dados da bóia direccional tipo "WAVEC", explorada pelo I.H, e a verificação envolveu o espectro direccional, a função de distribuição direccional, para a frequência de pico, a altura significativa, o período de pico e a direcção média para a frequência de pico. Os resultados apresentados indicam que a aplicação reproduz as características essenciais observadas do estado de mar, persistindo, todavia, discrepâncias na função de distribuição direccional para um dos exemplos em causa.

---

<sup>1</sup> Bolseiro FCT de pós-doutoramento

## INTRODUÇÃO

A plataforma continental portuguesa é constituída por uma faixa estreita. Este facto, conjugado com o carácter aberto e exposto da costa, especialmente no seu desenvolvimento oeste, que se confronta com os sistemas frontais dirigindo-se para leste e ondulação originada no oceano Atlântico, tem várias implicações. Em primeiro lugar, as ondas geradas pelo vento constituem o principal agente condicionante da morfodinâmica litoral, e a variável preponderante no projecto das estruturas costeiras e de abrigo portuário. Deste modo, a correcta simulação e previsão da agitação marítima junto à costa encontra largo campo de aplicações.

A configuração particular da costa portuguesa, acima referida, implica ainda que os modelos de águas profundas não têm resolução para zonas junto à costa. Deste modo, torna-se necessário lidar com um problema de duas escalas: a escala de bacia onde as ondas são geradas e a escala local, de menores dimensões, onde as ondas são modificadas, ao interagirem com o fundo e com os factores oceanográficos (correntes e marés).

De entre as possíveis técnicas de simulação da evolução da agitação marítima em águas de profundidade finita, salientam-se os modelos espectrais de média em fase. Nesta aproximação, a base da previsão assenta em modelos numéricos que realizam a integração da equação de balanço da densidade espectral de energia, sendo o campo de ventos à superfície a principal função forçadora. Tradicionalmente, a cinemática desta aproximação era formulada em coordenadas lagrangeanas, conduzindo a modelos de raios. Mais recentemente, a referida equação é resolvida numa malha regular, em coordenadas eulerianas. Nesta abordagem, não é fácil encontrar uma forma de incorporar a difracção na mencionada equação, o que inibe a aplicação deste tipo de modelos em problemas de interacção onda-estrutura.

Nesta comunicação apresenta-se uma primeira verificação da aplicação do modelo SWAN à costa oeste portuguesa, utilizando medições de um perfilador acústico por efeito Doppler (ADCP). O modelo SWAN (Simulating Waves Nearshore), desenvolvido na Universidade Técnica de Delft (TUDelft), enquadra-se no género de modelos acima descrito. As derivadas parciais presentes nas equações, e associadas à propagação no espaço da frequência e da direcção, são aproximadas por diferenças finitas centradas, o que conduz a um esquema numérico implícito. Tal permite que as dimensões da malha espacial não fiquem condicionadas pelo passo temporal, indo assim, ao encontro do requisito acima mencionado.

À semelhança de outros estudos anteriores (*Pires Silva et al.*, 1999; *Pires Silva et al.*, 2000a; *Pires Silva et al.*, 2000b; *Ventura Soares et al.*, 2000) também o presente se situou numa área adjacente à praia de Pinheiro da Cruz, a norte de Sines. O modelo SWAN utilizou, como condições de fronteira de mar, as medições obtidas com a bóia direccionada tipo "WAVEC", explorada pelo I.H, e fundeada ao largo do porto de Sines. As suas previsões foram comparadas com a informação extraída do ADCP, em águas de profundidade intermédia, que incluíam o espectro direccionado  $[F(\sigma, \theta)]$ , a função de distribuição direccionada, para a frequência de pico  $[D(\theta)]$ , a altura significativa ( $H_s$ ), o período de pico ( $T_p$ ) e a direcção média para a frequência de pico ( $D_p$ ). O período de operação do sensor correspondeu a situações de mar de oeste e sudoeste, tendo a altura significativa ao largo, estimada da bóia, ultrapassado, numa dada fase, os 6,50 m.

Os exemplos que se apresentam mostram que o modelo tem capacidade de representar as características essenciais observadas do estado de mar. No entanto, registam-se, nos dados correspondentes à situação de tempestade de Fevereiro, insuficiências na reprodução dos picos secundários da função de distribuição direccionada.

A investigação descrita insere-se num projecto iniciado em 2001 e financiado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia. De entre os seus objectivos consta o desenvolvimento de metodologias de assimilação de dados, na exploração de modelos espectrais em zonas costeiras.

## DADOS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA E DOMÍNIO DE CÁLCULO

As medições de campo associadas ao presente trabalho foram realizadas simultaneamente ao largo e junto à costa.

No primeiro caso, o sensor utilizado foi a bóia direccional tipo “WAVEC”, fundeada nas coordenadas  $37^{\circ} 55' 16''$  N,  $8^{\circ} 55' 44''$  W, em sonda reduzida de 97 m, e explorada operacionalmente desde 1988 pelo Instituto Hidrográfico. O tratamento de rotina em vigor no I.H. é baseado em *Kuik et al.* (1988), e disponibiliza a função densidade espectral de variância (espectro de frequência), a direcção média para cada frequência em que é calculada a função anterior, e um parâmetro que mede a dispersão em torno da direcção média.

Dada a formulação do modelo SWAN, em que a principal variável de prognóstico é o espectro direccional, é necessário especificar uma estimativa desta função na fronteira de mar aberto. O modelo tem capacidade para aceitar várias formas desta estimativa: o valor de cada componente da densidade espectral direccional, o valor de cada componente do espectro unidireccional (espectro de frequência), complementado com o valor médio da direcção e da dispersão para cada frequência ou o valor de parâmetros integrais para serem usados em expressões analíticas do espectro de frequência e da função de distribuição direccional. Em relação à primeira hipótese, o valor das referidas componentes pode ser obtido de medições de campo ou como resultado de simulação numérica. Assim sendo, o tipo de dados processados acima descrito enquadra-se na segunda hipótese, e é adequado para servir de condição inicial para as simulações numéricas.

No segundo caso, o sensor envolvido foi um perfilador acústico por efeito Doppler, que esteve em operação desde as 12:00 h do dia 23 de Janeiro de 2001 até às 8:00 h do dia 15 de Fevereiro de 2001. Os fundamentos e os princípios de funcionamento do ADCP, bem como um conjunto de informações complementares, são dados na comunicação *Santos et al.* (2001) das presentes Jornadas. A Figura 1 apresenta a evolução, no período total de medição, dos valores de  $H_s$ ,  $T_p$  e  $D_p$ .

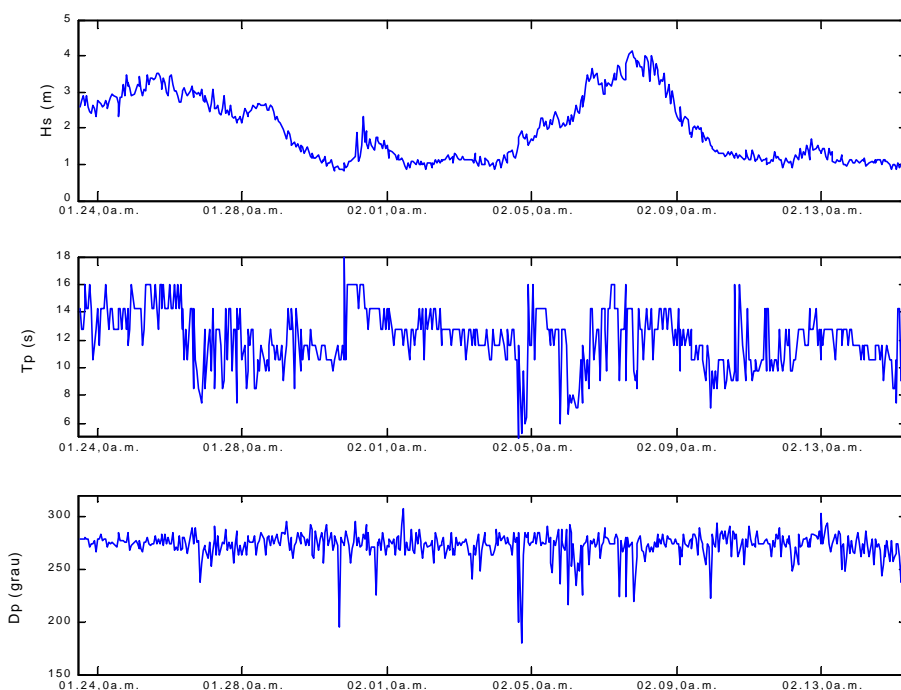


Figura 1 Evolução temporal de  $H_s$ ,  $T_p$  e  $D_p$ , estimados a partir de dados do ADCP.

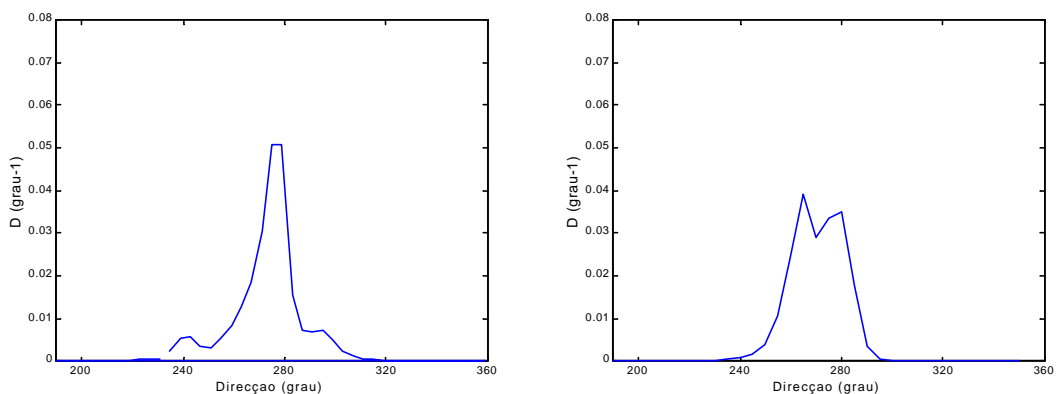
Como se constata da Figura 1, o mar esteve, no período em causa, persistentemente de Oeste, com alguns episódios de sudoeste. Nos dias 25 de Janeiro e 7 de Fevereiro registaram-se os maiores valores de  $H_b$ . O período de pico foi a variável que exibiu maiores oscilações.

O domínio de cálculo, as características da malha utilizada, o enquadramento da zona de aplicação e a informação batimétrica, estão descritas em pormenor na comunicação *Pires Silva et al.* (2001), também apresentada nesta Jornadas, e portanto não serão aqui repetidas.

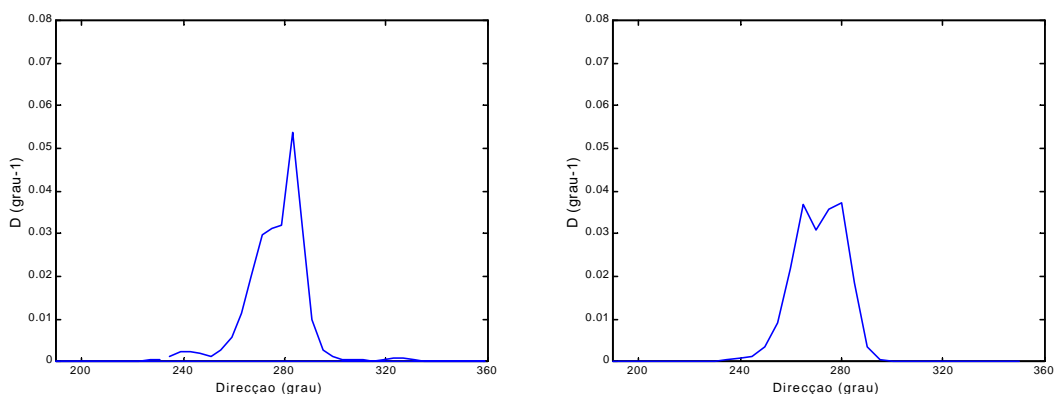
## ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

As características do modelo usado nas simulações, e a discussão dos termos das equações e sua discretização numérica, podem ser encontradas em *Ris* (1997) e *Pires Silva et al.* (1999). Por outro lado, as opções do SWAN adoptadas neste trabalho são semelhantes às usadas na já citada comunicação de *Pires Silva et al.* (2001).

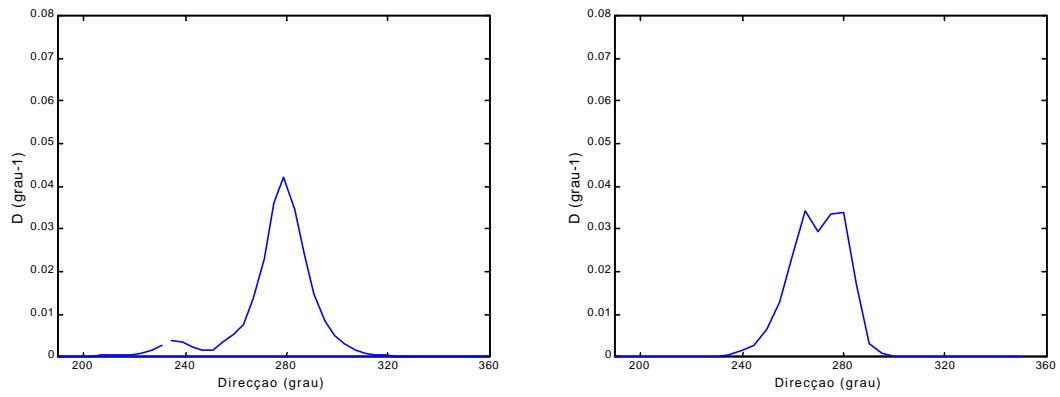
Na Figura 2 encontra-se a função de distribuição direccional para a frequência de pico, obtida dos dados do ADCP, e simulada pelo SWAN. A situação diz respeito ao dia 25 de Janeiro.



a)



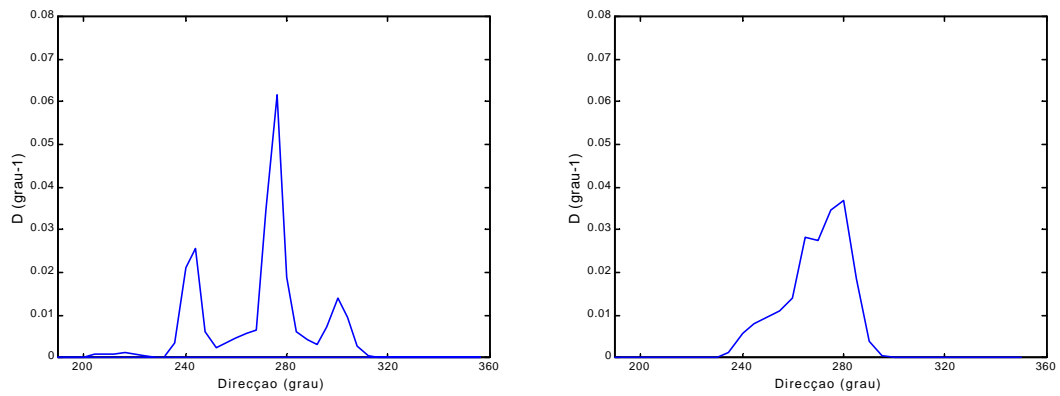
b)



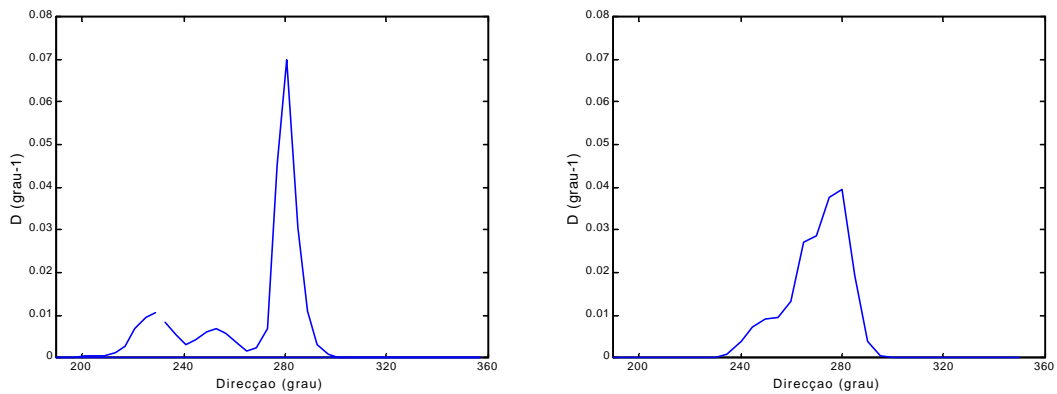
c)

Figura 2 Comparação de  $D(\theta)$ , estimada dos dados do ADCP (coluna da esquerda) e simulados pelo SWAN (coluna da direita) - 01.01.25 - 15:00 (a), 16:00 (b), 17:00(c).

Apesar de as simulações apresentarem um valor de pico mais baixo, a forma da função está bem aproximada nos três casos da Figura 2. Tal não acontece com os exemplos da Figura 3, em que os picos secundários de sudoeste e oeste-sudoeste observados não são completamente reproduzidos.



a)



b)

Figura 3 Comparação de  $D(\theta)$ , estimada dos dados do ADCP (coluna da esquerda) e simulados pelo SWAN (coluna da direita) - 01.02.07 - 17:00 (a), 18:00 (b).

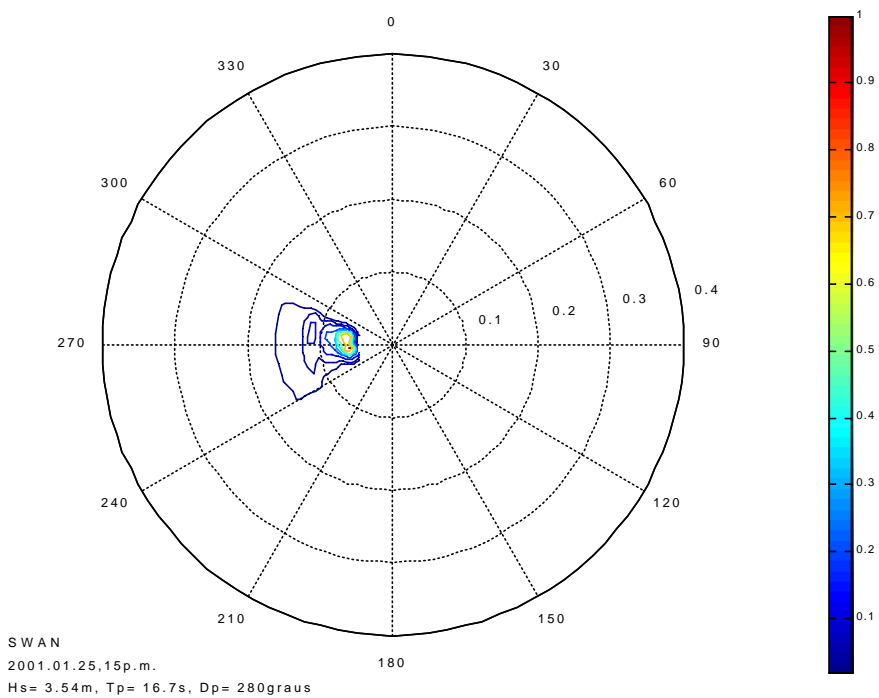
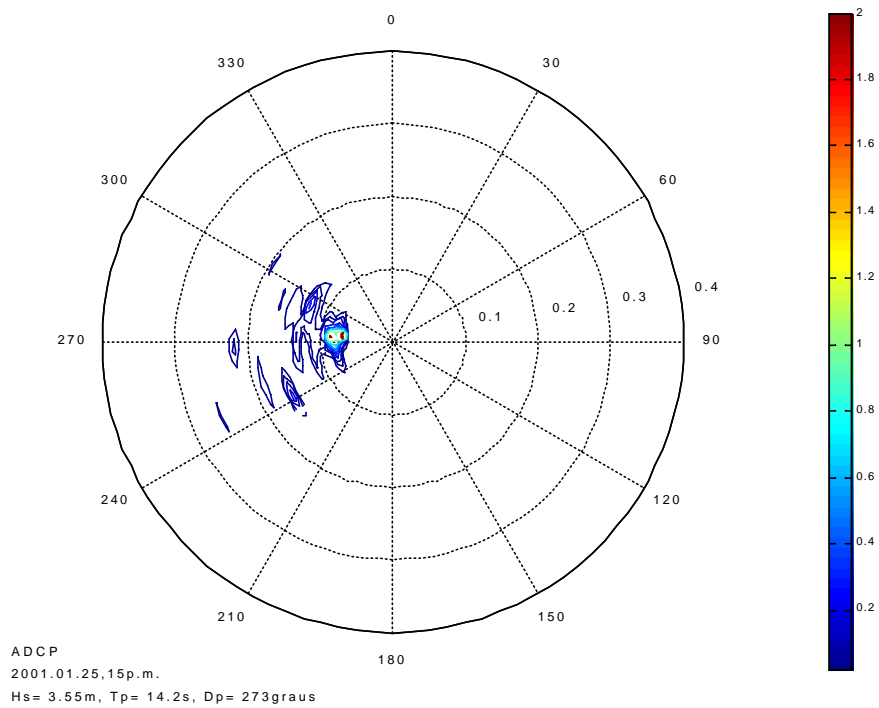


Figura 4 Comparação de  $F(\sigma, \theta)$ , estimada dos dados do ADCP (painel superior) e simulados pelo SWAN (painel inferior) – 01.01.25 – 15:00

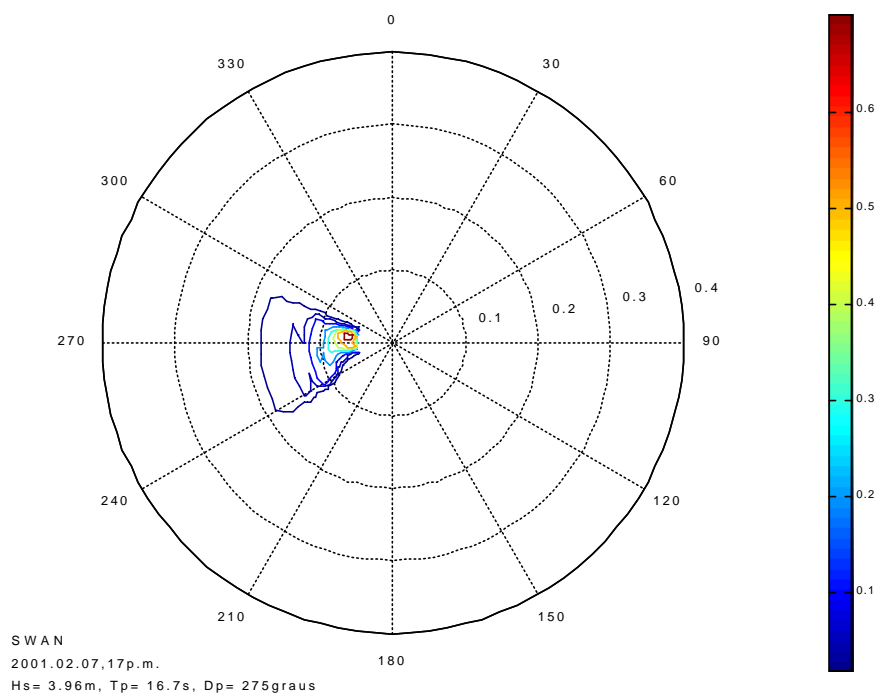
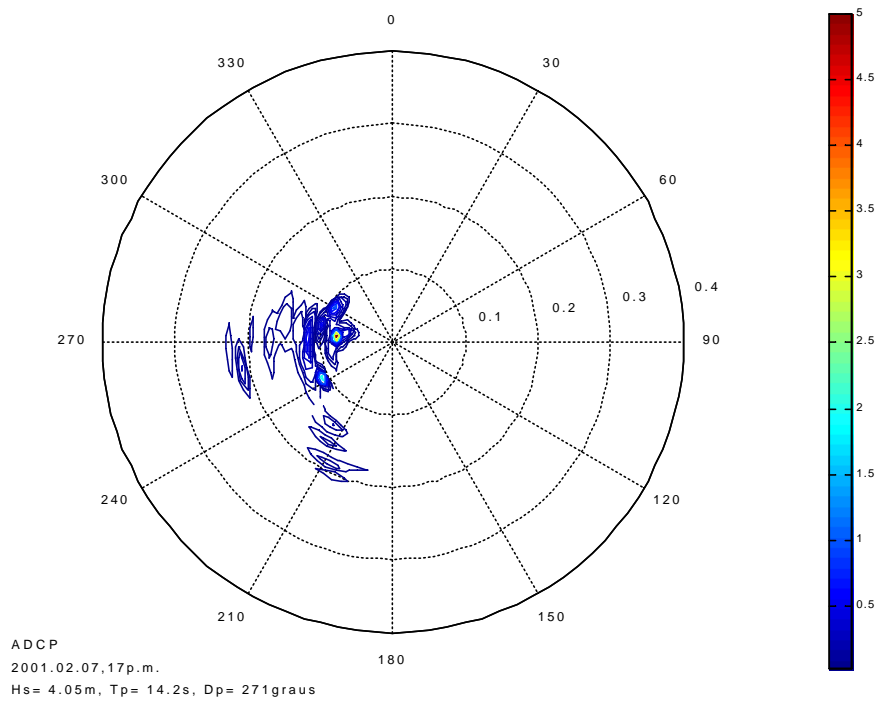


Figura 5 Comparação de  $F(\sigma, \theta)$ , estimada dos dados do ADCP (painel superior) e simulados pelo SWAN (painel inferior) – 01.02.07 – 17:00

As Figuras 4 e 5 reflectem as considerações feitas sobre a função de distribuição direccional. Mostram ainda que o valor de  $H_s$  está bem aproximado, assim como a direcção média  $D_p$ , mas o mesmo grau de precisão não acontece com  $T_p$ . Na Figura 5 observa-se que as direcções de sudoeste e oeste-sudoeste não são adequadamente simuladas.

## APRECIACÕES FINAIS

Simulou-se a propagação das ondas geradas pelo vento num domínio compreendido entre a fronteira de mar, localizada a oeste do Cabo Espichel, e a praia de Pinheiro da Cruz na costa sudoeste de Portugal, a norte de Sines. O modelo permite obter em cada nó da malha o espectro direccional e, a partir deste, a função de distribuição direccional, para várias frequências, e parâmetros integrais como a altura significativa. Estes resultados foram comparados com medições obtidas por um ADCP, fundeado a 17 m (ZH).

Trata-se de um primeiro teste com este tipo de dados, tendo-se verificado que o modelo tem capacidade de representar as características essenciais observadas do estado de mar. No entanto, registam-se, nos dados correspondentes à situação de tempestade de Fevereiro, insuficiências na reprodução dos picos secundários da função de distribuição direccional.

Estão em curso estudos mais aprofundados, com emprego de estatísticas de verificação, para compreender melhor as discrepâncias registadas. Em particular, é necessário analisar o espectro unidireccional para avaliar o desajuste nos valores de  $T_p$ . Por outro lado, a não reprodução de picos secundários pode, eventualmente, estar relacionada com opções tomadas, como sejam a não inclusão do vento, ou com processos físicos do modelo deficientemente parametrizados.

As condições iniciais podem ser melhoradas com a estima do espectro direccional ao largo, o que também permitirá avaliar se os referidos picos secundários já estavam presentes nos dados da bóia. Em alternativa, o modelo SWAN pode ser forçado pelas simulações de um modelo global WAM. Em *Makarynsky et al.* (2001) é apresentado um estudo de verificação dos resultados deste tipo de modelo, com os dados da bóia de Sines, que mostra a viabilidade de tal opção.

## AGRADECIMENTOS

O trabalho apresentado enquadra-se no projecto *Previsão da Agitação Marítima Junto à Costa: Modelos Espectrais e Assimilação de Dados*, financiado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia no âmbito do “Programa Dinamizador de Ciências e Tecnologias do Mar” da FCT (PDCTM-MAR-15242-99).

Oleg Makarynsky é bolsheiro de pós-doutoramento da Fundação para a Ciência e Tecnologia (SFRH/BDP/1507/2000), a quem se agradece.

Agradece-se ao Instituto Hidrográfico da Marinha a disponibilidade dos dados da bóia de Sines, especialmente a Dr.<sup>a</sup> Mariana Costa, bem como os dados do ADCP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Kuik, A.J., Van Vledder, G.Ph. e Holthuijsen, L.H. (1988), A method for the routine analysis of pitch-and-roll buoy data, *J. Phys. Oceanogr.*, **18**, 1020-1034.
- Makarynsky, O., Pires Silva, A.A., Carretero, J.C. e Costa, M. (2001), WAM-BUOY comparisons in the portuguese west coast, *Proc. Int. Congress: Oceans III Millennium*, Pontevedra, Espanha, (aceite para publicação).



- Pires Silva, A.A., Makarynsky, O., Ventura Soares, C. e Coelho, E. (1999), Propagação da agitação marítima ao largo de Pinheiro da Cruz: Aplicação do modelo SWAN, *Actas 1º Jorn. Port. de Engng. Costeira e Portuária*, PIANC-DP, Porto, 47-57.
- Pires Silva, A.A., Makarynsky, O., Rusu, E., Ventura Soares, C. e Coelho, E. (2000a), Exploração de modelos encaixados na simulação da agitação marítima junto à costa, in *O Mar e os Desafios do Futuro*, C. Guedes Soares e J. Beirão Reis (Eds.), Edições Salamandra, Lda., Lisboa, 27-35.
- Pires Silva, A.A., Makarynsky, O., Monbaliu, J., Ventura Soares, C. e Coelho, E. (2000b), Modelling wave transformation in an open beach on the west coast of Portugal, *Proc. COASTAL WAVE MEETING*, A. Sanchez-Arcilla, S.Ponce de Leon (Eds.) Technical University of Catalonia, Barcelona, 4.3.
- Pires Silva, A.A., Makarynsky, O., Ventura Soares, C. e Coelho, E. (2001), Avaliação da parametrização da dissipação por atrito no fundo no modelo SWAN, *Actas 2º Jorn. Port. de Engng. Costeira e Portuária*, PIANC-DP, Sines, (aceite para publicação).
- Ris, R.C. (1997), *Spectral Modelling of Wind Waves in Coastal Areas*, Ph.D. Thesis, Dept. Civil Engng., Delft Univ. Technology.
- Santos, L.Q., Ventura Soares, C. e Onofre, J.M. (2001), Utilização de equipamentos acústicos para a medição de parâmetros de agitação marítima, *Actas 2º Jorn. Port. de Engng. Costeira e Portuária*, PIANC-DP, Sines, (aceite para publicação).
- Ventura Soares, C., Rusu, E., Coelho, E., Pires Silva, A.A. e Makarynsky, O. (2000) A nowcast tool to assess wave parameters in coastal areas, *Proc. 6º Intern. Workshop on Wave Hindcast and Forecasting*, Monterey, California, Environment Canada, p1-p10.