

IMPLEMENTAÇÃO DE UM MODELO GLOBAL PARA PREVISÃO DE AGITAÇÃO MARÍTIMA

José Paulo Pinto, Eugen Rusu,
Raquel Silva, Carlos Ventura Soares

MARINHA, INSTITUTO HIDROGRÁFICO,
Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa, Portugal.
Email: oceanografia@hidrografico.pt

Resumo

Neste trabalho é apresentada uma implementação de um modelo global para previsão e caracterização de ondas gravíticas de superfície que, em particular, permite determinar as condições fronteiras para modelos regionais de alta resolução.

O artigo é constituído por três secções; um breve enquadramento onde se indicam as principais motivações que substanciam este trabalho assim como uma descrição geral dos modelos numéricos utilizados são apresentados na primeira secção; na segunda secção é apresentada uma validação do modelo global sobre a plataforma continental ibérica, através de comparações com bóias dos parâmetros ondulatórios mais relevantes; na terceira secção aborda-se o acoplamento entre o modelo global e o modelo regional. Os resultados, que serviram de apoio a uma operação militar da responsabilidade da Marinha Portuguesa, foram comparados com bóias ondógrafo.

Secção 1. Modelos de agitação marítima

A interacção do mar sobre as zonas costeiras tem um significativo impacto económico e ambiental. Os seus efeitos imediatos condicionam numa forma decisiva as actividades portuárias e de pesca, as operações anfíbias militares e, em situações extremas, danificam estruturas costeiras pondo em perigo a integridade de pessoas e bens. A longo prazo, esta incessante transferência de energia e momento linear é ainda responsável pela erosão e transporte sedimentar que determina a dinâmica da morfologia costeira. Apesar destes processos serem caracterizados por uma escala temporal longa, um aumento do nível do mar inesperadamente súbito, alterações climáticas (predominância de situações adversas extremas) e a construção de estruturas que cortem o natural fluxo dos sedimentos podem criar condições para acelerar estes processos, produzindo efeitos que alterem o equilíbrio frágil e aparente da linha costeira numa forma irreversível.

Para uma gestão segura, eficiente e integrada da orla costeira é necessário um sistema de monitorização e previsão marítima que englobe todos os processos relevantes, a curto, médio e longo prazo. Nesta perspectiva, a agitação marítima constitui uma das solicitações dominantes a ter em conta na interacção do mar sobre as suas fronteiras, sejam estas naturais ou artificiais. A implementação de um sistema operacional para a previsão da agitação marítima, de elevada resolução ao longo da linha costeira, é essencial. Por outro lado, a existência de equipamentos oceanográficos que tornam acessível, e com elevada precisão, informação sobre o estado do mar são indispensáveis. De facto, a colocação de bóias ondógrafo em pontos estratégicos, geralmente junto a portos, permite a observação em tempo

real dos parâmetros de agitação marítima. Para além dos objectivos imediatos associados à gestão de toda a actividade portuária e marítima, os dados obtidos validam e calibram as simulações realizadas através de modelos numéricos. Em particular e a curto prazo, as observações podem ainda, através de modelos de assimilação, melhorar as previsões destes modelos, sendo este o objectivo fundamental quando se pretende proteger e assegurar aqueles que de alguma forma dependem das vicissitudes do mar. Numa perspectiva diferente, os dados resultantes de observações ou de modelos numéricos suportam diversos programas científicos, como o planeamento de estruturas de protecção costeiras e outros equipamentos ou a determinação do fluxo de sedimentos induzido pelas ondas, factor relevante em estudos de erosão e transporte sedimentar ao longo do litoral.

A previsão numérica da agitação marítima junto à costa é realizada com base em modelos locais de alta resolução, que cobrem áreas com comprimentos típicos da ordem de algumas centenas de quilómetros. Nesta perspectiva, um dos modelos mais utilizados é o SWAN (Simulating WAVes Nearshore), desenvolvido pela Universidade de Delft e utilizado operacionalmente no Instituto Hidrográfico (IH). Este é um modelo espectral que simula e descreve a propagação, e consequente dissipação, de ondas em águas pouco profundas. A partir de um conhecimento prévio das condições fronteira, vento, batimetria e correntes, o modelo calcula a evolução do espectro direccional, permitindo obter estimativas realísticas dos parâmetros ondulatórios em zonas costeiras.

O modelo contém todos os processos considerados relevantes para uma descrição adequada da agitação marítima em águas costeiras. De facto, a refacção e o empolamento devido à variação da profundidade assim como a dissipação por atrito no fundo e rebentação estão implementados neste modelo. A refacção e a variação da frequência (efeito Doppler) associada à presença de correntes também é considerada. É tido em conta as interacções não lineares ressonantes e a rebentação parcial. Como forçamento, é considerado o efeito do vento sobre a superfície oceânica, determinante no perfil de crescimento das ondas na área de interesse. A difracção é considerada numa versão recente do modelo sendo um processo relevante sempre que as ondas enfrentam obstáculos (ilhas, cabos e estruturas portuárias ...).

Em particular, foi desenvolvido no IH (Rusu et al. 2002) uma interface que permite uma rápida implementação do modelo na área de interesse assim como o pós processamento dos dados necessários para a visualização e análise das condições de agitação marítima no processo em estudo.

A informação necessária para “correr” este tipo de modelos, para além da batimetria, pode ser dividida em duas classes; forçamento exterior (correntes e ventos) e condições iniciais e de fronteira. As condições fronteira são o aspecto mais sensível e relevante deste problema. De facto, as ondas são geradas essencialmente em águas profundas, nas bacias oceânicas, propagando-se milhares de quilómetros até atingir as plataformas continentais. Assim, para uma previsão efectiva da agitação marítima é imprescindível considerar e introduzir nos modelos locais estas ondas como condição fronteira. A forma utilizada consiste na utilização de uma rede de bóias situadas em águas profundas ou em considerar os resultados de um modelo de agitação marítima global. Esta última hipótese foi a adoptada no Instituto Hidrográfico (IH), tendo sido implementado para o efeito o modelo espectral WAVEWATCH III (WW3).

O modelo WW3 é um modelo espectral à escala oceânica desenvolvido no National Centers for Environmental Predictions (NCEP). Tal como no SWAN, as ondas são descritas pela densidade de acção espectral $N(\sigma, \theta, \phi, \lambda, t)$, função da frequência angular relativa σ , direcção da onda θ , latitude ϕ , longitude λ e tempo t . A densidade de acção espectral é definida a partir da densidade de energia espectral $F(\sigma, \theta, \phi, \lambda, t)$ dividido pelo valor de σ observado num referencial que se move com a velocidade da corrente, isto é, $N(\sigma, \theta, \phi, \lambda, t) = F(\sigma, \theta, \phi, \lambda, t) / \sigma$. Na

presença de efeitos de maré ou correntes a densidade de acção espectral conserva-se, a densidade de energia espectral não.

Os parâmetros de agitação marítima são calculados a partir dos momentos da distribuição espectral $F(\sigma, \theta, \phi, \lambda, t)$. A equação de balanço para a densidade de acção espectral em coordenadas esféricas que permite determinar a evolução do espectro é dada por

$$(1) \quad \frac{\partial}{\partial t} N + (\cos \phi)^{-1} \frac{\partial}{\partial \phi} (c_{\phi} \cos \phi N) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (c_{\lambda} N) + \frac{\partial}{\partial \sigma} (c_{\sigma} N) + \frac{\partial}{\partial \theta} (c_{\theta} N) = \frac{S}{\sigma}$$

onde

$$(2) \quad S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot}$$

constituem os termos de fonte. No primeiro membro da Eq.(1), o primeiro termo representa a variação local da densidade de acção no tempo, o segundo e terceiro termos a propagação no espaço geográfico (com velocidades de propagação c_{ϕ} e c_{λ} em latitude e longitude, respectivamente), o quarto termo a variação da densidade espectral associada ao efeito Doppler devido à variação da profundidade e da corrente (com velocidade de propagação c_{σ} no espaço da frequência relativa σ) e no quinto termo a variação associada à refacção induzida por variações espaciais, na direcção perpendicular à direcção de propagação, da profundidade e corrente (com velocidade de propagação c_{θ} no espaço definido por θ). Em particular, o quarto termo é nulo se desprezarmos a corrente e os efeitos de maré. Uma apresentação detalhada da teoria assim como expressões explícitas para as velocidades de propagação podem ser encontradas em Whitman (1974).

O termo $S = S(\sigma, \theta, \phi, \lambda, t)$ no segundo membro da Eq.(1) representa a soma de todos os termos fonte expresso em unidades de densidade de energia. De acordo com a Eq.(2), a geração de ondas induzida pelo vento é incluída em S_{in} , as interacções não lineares são representadas em S_{nl} , a dissipação por rebentação parcial é dada por S_{ds} e o atrito de fundo por S_{bot} . O modelo SWAN inclui ainda um termo associado à rebentação induzida pelo fundo, processo importante em águas pouco profundas. Como em águas profundas e intermédias as interacções quadruplas não lineares onda-onda são dominantes, no WW3 o termo S_{nl} é constituído apenas por este tipo de interacção calculado através de um método proposto por Hasselmann (1985). O SWAN, para além do termo quadruplo contém ainda outro termo, denominado por "triad", importante em águas pouco profundas. O termo associado ao atrito de fundo S_{bot} é igual em ambos os modelos (JONSWAP, 1973).

Relativamente aos termos de fonte S_{in} e S_{ds} o WW3 possui duas formulações diferentes; a do WAM (Cycle-3, WAMDI group, 1988; Komen et al., 1984) e a parametrização de Tolman e Chalikov (1996), referida neste artigo como WW3_TC. O SWAN possui a formulação mais recente do WAM (Cycle-4, Janssen, 1989 e 1991)

Formalmente os modelos espectrais SWAN e WW3 são similares. No entanto, devido ao facto de serem aplicados a escalas diferentes cada modelo tem as suas especificidades próprias, que se revelam ao nível dos métodos numéricos utilizados para resolver a Eq.(1) e das parametrizações dos termos de fonte. Detalhes da versão 1.18 do WW3 e da versão 40.11

do SWAN podem ser encontradas em Tolman (1999) e (SWAN User Manual, 2000; Booji et al., 1999; Ris et al., 1999), respectivamente.

Secção 2. Validação do modelo global

O modelo WW3 foi implementado sobre toda a bacia do Atlântico Norte compreendida entre os 20° N – 70° N e –70° W – 0° W, com uma resolução espacial de 0.5°. A área está ilustrada na Figura 1. As ondas são geradas através do forçamento do vento (NOGAPS) obtido com um intervalo de 12 horas e uma resolução espacial de 1°.

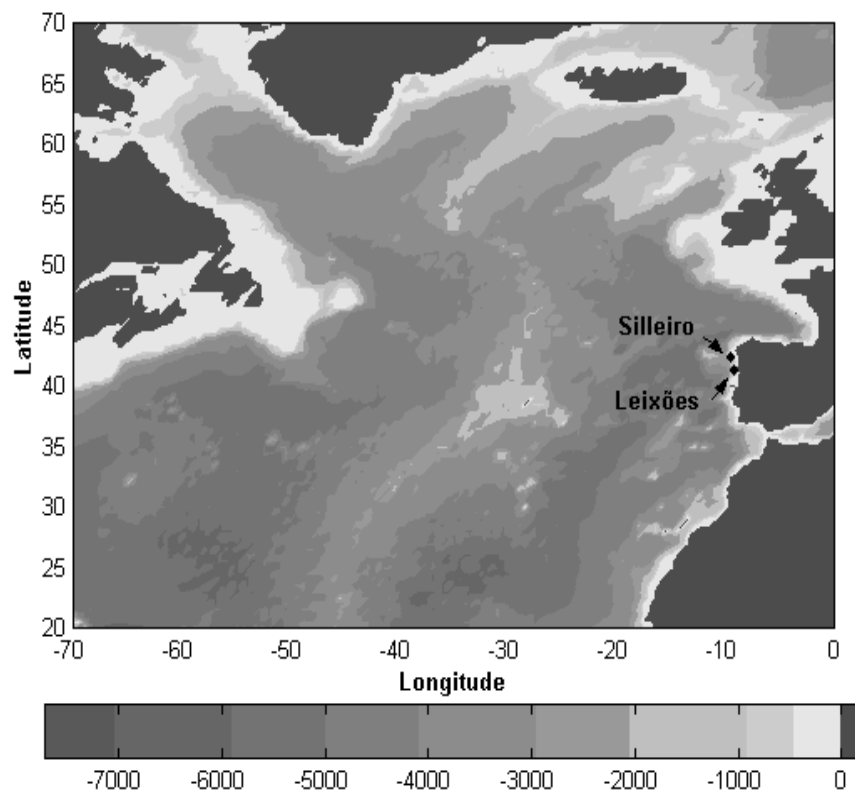


Figura 1: Área geográfica utilizada nas simulações do WW3 e localização das bóias.

Os efeitos da corrente e maré não foram considerados nestas simulações. Para a discretização do espectro considerou-se 25 frequências espaçadas logaritmicamente desde 0.048 Hz a 0.473 Hz, com um factor de incremento de 1.1, e 24 direcções igualmente espaçadas o que dá uma resolução de 15°. O passo temporal máximo para o esquema de propagação é de 600 s e o passo temporal mínimo para a integração dos termos de fonte é 60 s. Para os restantes parâmetros, numéricos e físicos, considerou-se os valores aconselhados obtidos a partir de um ajuste global do modelo.

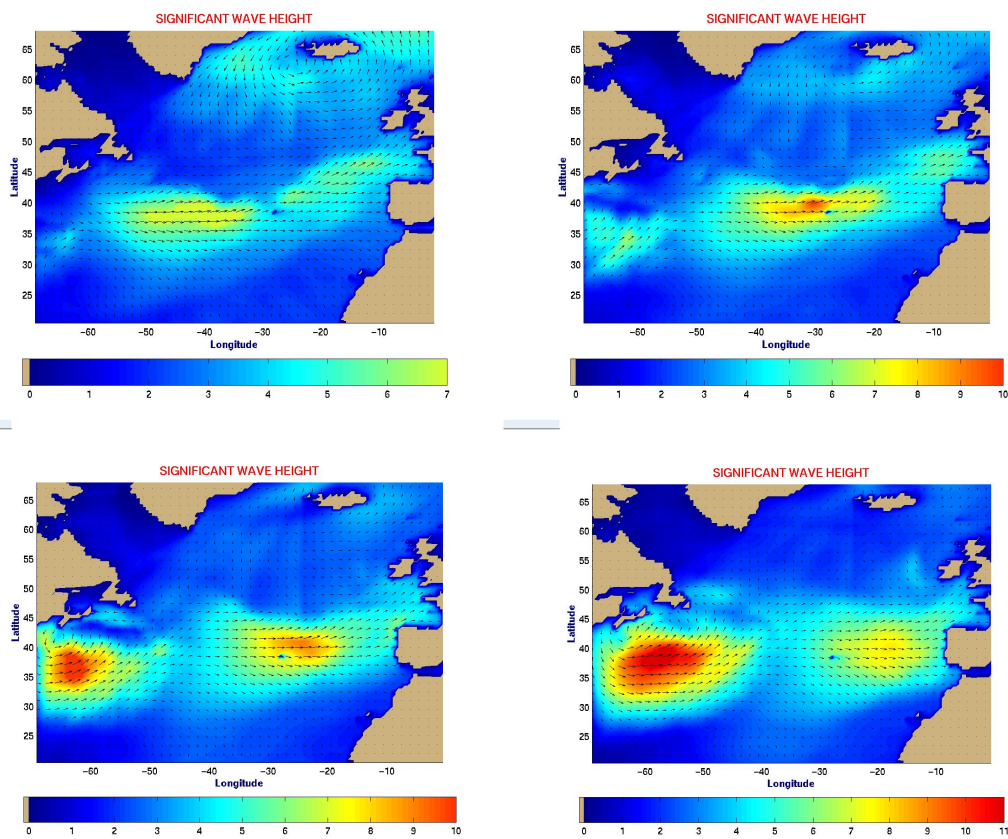


Figura 2: Altura significativa e direcção média no início do desenvolvimento da tempestade que ocorreu em 27-12-02

Com o objectivo de testar o desempenho do modelo sobre a plataforma continental ibérica foram realizadas simulações durante o mês de Dezembro de 2002. Os resultados obtidos para a altura significativa, direcção e período médio em toda a bacia do Atlântico Norte são apresentados na Figura 2 e Figura 3 para o episódio de tempestade ocorrido em 27-12-02. Nas imagens topo da Figura 2 podemos observar o início do evento junto à costa Este Americana e a sua intensificação na região dos Açores devido à presença de uma depressão centrada na Islândia. Nas restantes imagens observa-se a propagação do fenómeno na direcção da costa Portuguesa, antevendo-se o desenvolvimento de um novo evento análogo ao anterior. A situação aqui ilustrada deu origem a ondas com uma altura significativa de oito metros ao largo da costa atlântica da península ibérica, tendo sido o episódio mais energético no período analisado por estas simulações. A análise do período médio, ilustrada na Figura 3, permite também evidenciar a geração e evolução do fenómeno; a convergência na região dos Açores de duas frentes, uma com origem na costa Este Americana outra na Islândia e a consequente propagação para a costa Portuguesa está bem patente nessas imagens.

A bóia ondógrafo direccional DATAWELL, localizada em Leixões em condições de águas profundas (profundidade de 100 metros), providenciando observações de altura significativa (H_s), período de onda (pico T_p e médio T_{m02}) e direcção de pico (DIR) assim como a bóia meteorológica unidireccional de Sillero (profundidade de 1000 metros), que medindo entre outros parâmetros (H_s), T_{m02} e a velocidade do vento, permitiu a validação dos resultados obtidos a partir do modelo numérico durante todo o período de análise.

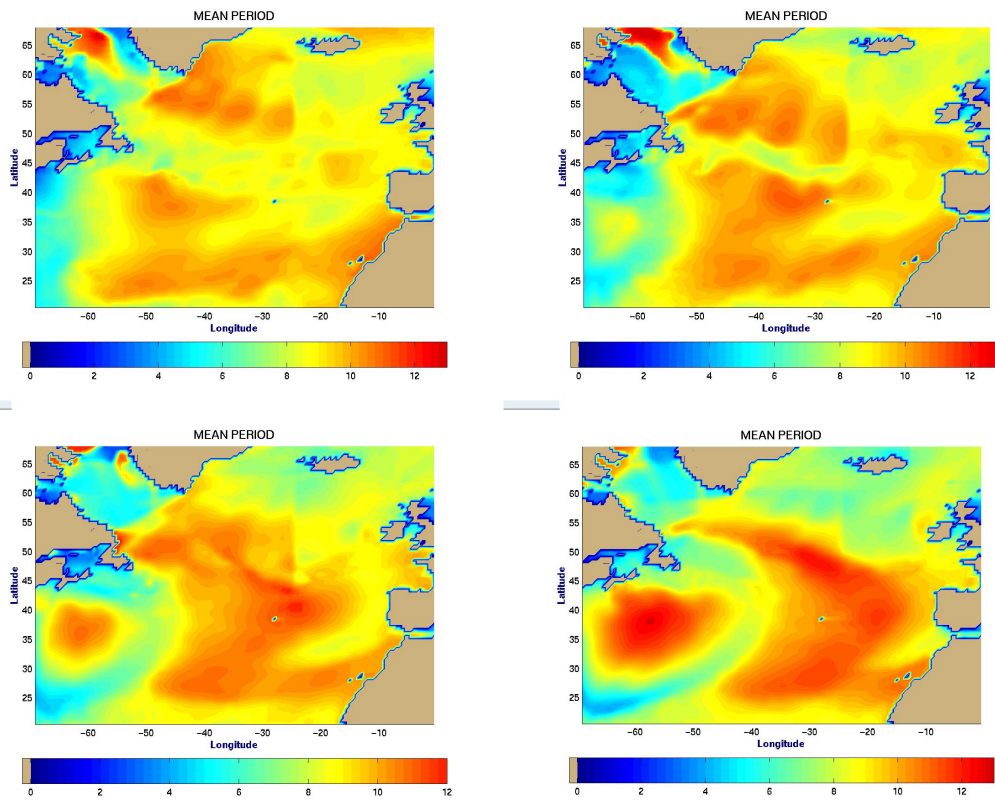


Figura 3: O mesmo que a Figura 2 para o período médio.

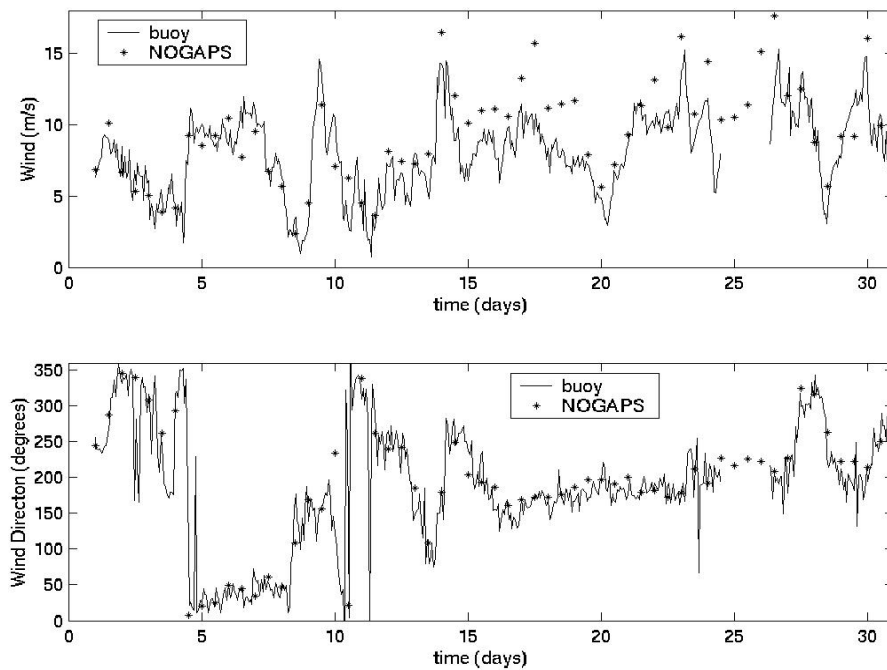


Figura 4: Comparação da velocidade e direcção do vento utilizado na simulação com os valores respectivos observados na bóia de Sillero.

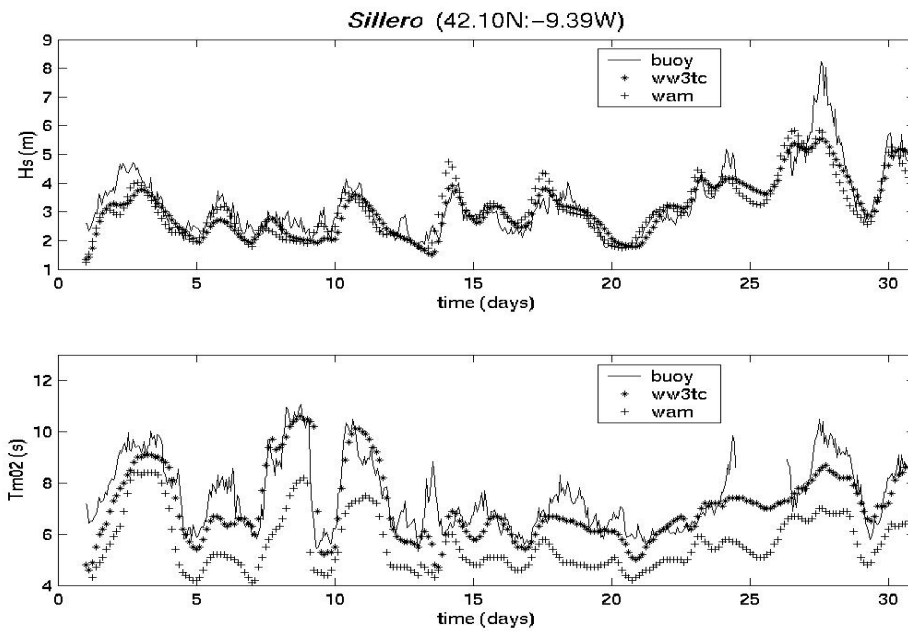


Figura 5: Comparação da altura significativa e período médio resultantes da simulação com os respectivos valores observados na bóia de Sillero.

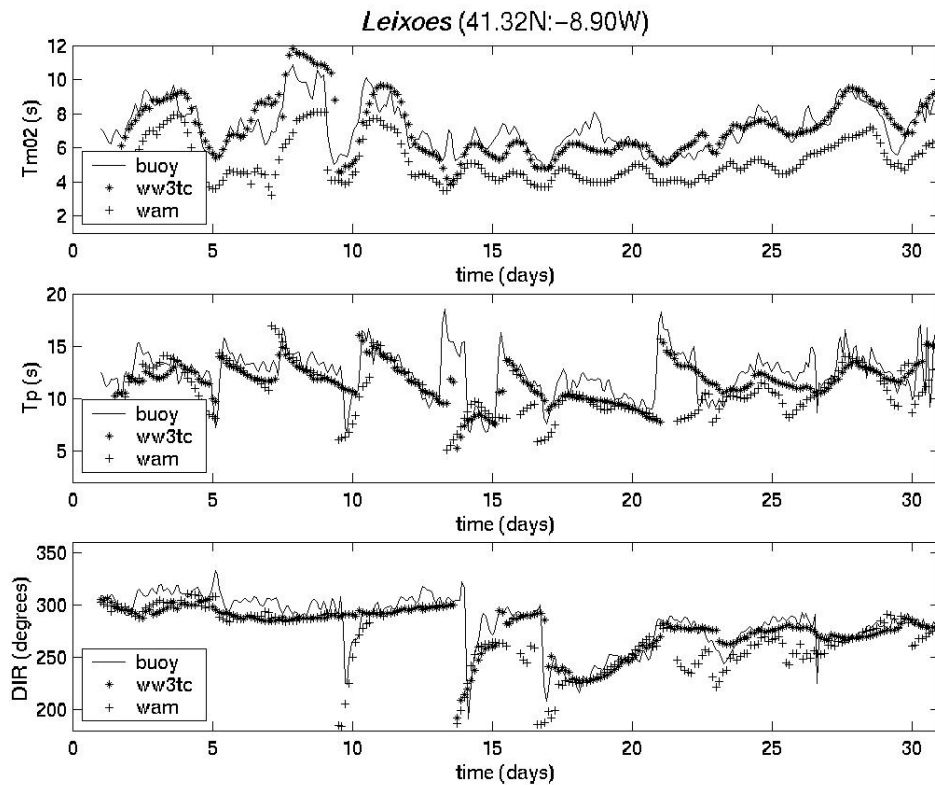


Figura 6: Comparação do período médio e de pico e da direcção de pico com os respectivos valores observados na bóia de Leixões.

A Figura 4 compara as estimativas para a velocidade do vento (NOGAPS), utilizado no forçamento do modelo global de agitação marítima, com os valores observados na bóia meteorológica de Sillero. Em geral o acordo é bastante razoável, especialmente a direcção do vento. Em relação ao módulo da velocidade existem algumas diferenças substanciais mas que tiveram pouca influência nos resultados. Convém no entanto sublinhar que nem sempre foi possível aceder à análise do vento (metodologia que inclui a assimilação de dados observados), tendo sido usado na maioria das vezes previsões a um e nalguns casos (fins de semana) a dois dias.

Como já foi referido, relativamente aos termos de fonte S_{in} e S_{ds} , o modelo permite optar por duas formulações diferentes, nomeadamente a parametrização do WAM (Cycle-3) e a parametrização de Tolman e Chalikov (WW3_TC). Para perceber qual destas formulações se revela mais adequada foi realizada uma análise comparativa.

A Figura 5 compara as estimativas do modelo numérico, altura significativa e período médio, com os respectivos valores observados na bóia de Sillero. No que diz respeito à altura significativa, ambas as formulações são comparáveis encontrado-se de acordo com os dados observados pela bóia. Este resultado não é surpreendente pois os modelos são ajustados com base no comportamento deste parâmetro. Apenas o episódio no dia 27-12-02 foi claramente subestimado pelo modelo, o que revela alguma incapacidade do modelo em descrever e prever correctamente as situações extremas de tempestade. Relativamente ao período médio, a formulação WW3_TC segue razoavelmente os dados observados, ao contrário da simulação realizada com a parametrização WAM (Cycle-3) que subestima sistematicamente este observável em todo o período de análise.

A Figura 6 compara as estimativas do modelo numérico, período médio e de pico e direcção de pico, com os dados observados na bóia de Leixões. A resolução da batimetria utilizada nas simulações não garante resultados muito precisos no ponto onde se encontra esta bóia. De facto, a bóia encontra-se já demasiado perto da costa e apesar da profundidade ser aproximadamente 100 metros, a interpolação da batimetria realizada pelo modelo obtém, no ponto onde se encontra a bóia, um valor na casa dos 20 metros de profundidade. No entanto, o período e a direcção da agitação marítima seguem razoavelmente bem os dados observados. Tal como em Sillero, o período médio só é bem reproduzido com a formulação WW3_TC.

A comparação estatística do desempenho relativo das duas formulações para o período de simulação é apresentado na Tabela 1

	SILLERO					
	WW3			WAM		
	Hs	Tm		Hs	Tm	
bias	0.128	0.113		0.124	1.598	
rms	0.839	1.810		0.825	2.349	
	LEIXOES					
	WW3			WAM		
	Tm	Tp	DIR	Tm	Tp	DIR
bias	0.031	0.914	6.024	2.009	1.668	11.79
rms	1.055	2.177	18.01	2.143	2.893	36.31

Tabela 1: Estatística comparativa dos parâmetros de agitação marítima para o período do mês de Dezembro de 2002.

Os parâmetros estatísticos são determinados de acordo com as seguintes expressões;

$$(3) \quad \text{bias} = \frac{1}{N} \sum_i (X_i - Y_i) \quad \text{e} \quad \text{rms} = \left(\frac{1}{N} \sum_i (X_i - Y_i)^2 \right)^{1/2}$$

onde N são o número de observações, X_i e Y_i são, respectivamente, os valores observados e os valores do modelo.

Secção 3. Acoplamento entre o modelo global e o modelo regional

O exercício militar SWORDFISH 2003, conduzido pela Marinha Portuguesa e realizado entre 1 e 16 de Abril de 2003 na costa atlântica Portuguesa, entre o cabo Espichel e o cabo Sardão, permitiu testar operacionalmente o modelo global de agitação marítima WW3. Ao ser responsável por providenciar informação oceanográfica relevante para as forças envolvidas nesta operação, o IH produziu previsões numéricas envolvendo três modelos; um modelo de circulação, nomeadamente o sistema de previsão oceanográfica de Harvard (HOPS) e dois modelos de agitação marítima, o SWAN e o WW3. Em particular, previsões a três dias para a agitação marítima na bacia do Atlântico Norte foram produzidos diariamente a partir do WW3. Na Figura 7 podemos observar os resultados duma dessas previsões obtidas no dia 11-04-03.

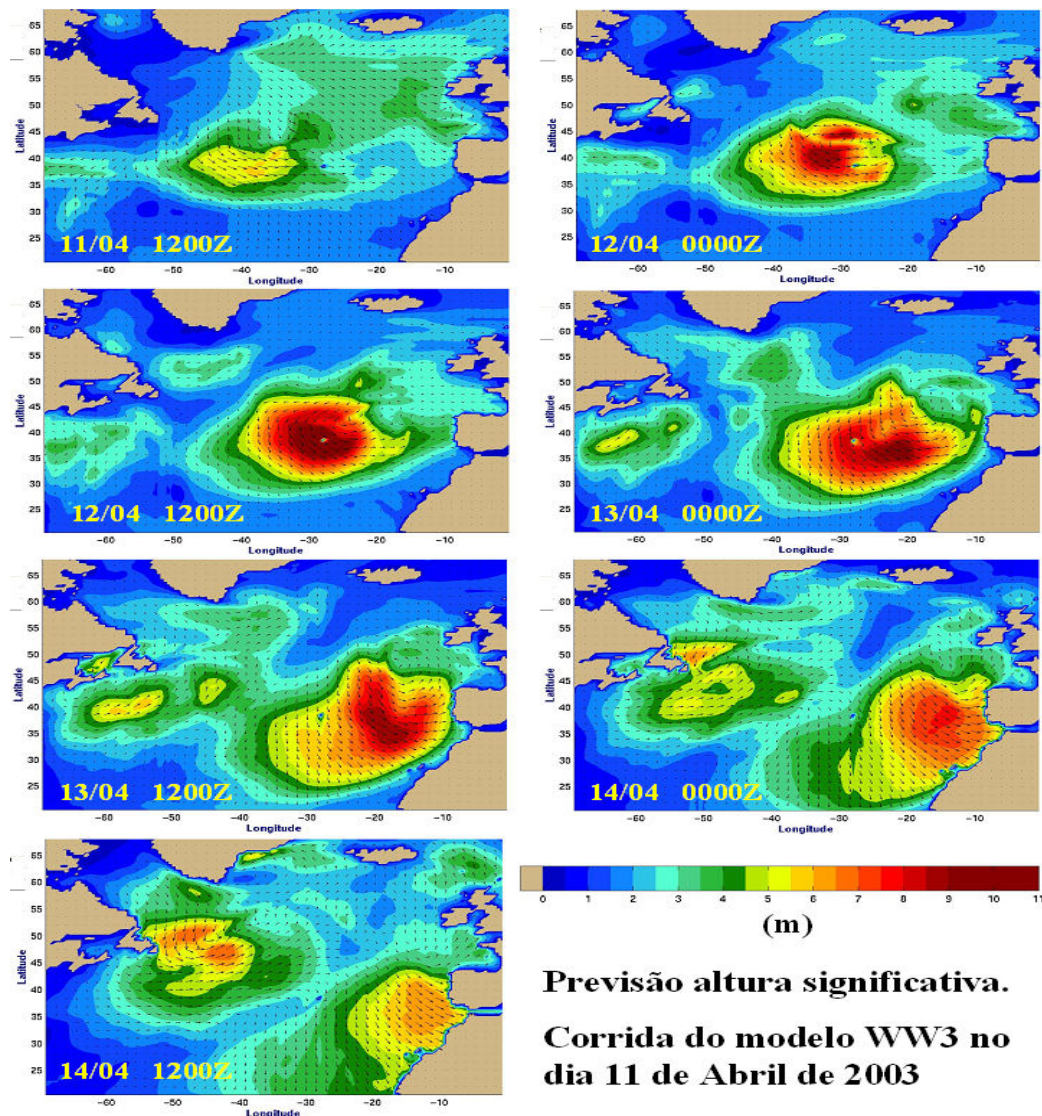


Figura 7: Previsões para a altura significativa na bacia do Atlântico Norte produzidas pelo WW3.

Como se verifica nas imagens da Figura 7 a tempestade ocorrida em 13-04-03 foi prevista a tempo de se alterar e reprogramar as operações em curso.

Como já referido, o modelo global não tem resolução nem inclui toda a física necessária para uma descrição realista dos parâmetros de agitação marítima em águas pouco profundas. Assim, para se obter informação de alta qualidade sobre o estado do mar junto à costa Portuguesa foi preciso considerar o modelo SWAN. As respectivas condições fronteira foram providenciadas pelos resultados do modelo global sobre a plataforma continental.

A transferência dos dados do WW3 para o SWAN é feito ao longo de três fronteiras, com intervalos de 0.5°; a fronteira Norte, a 42°N e de -11°W até -9°W; a fronteira Oeste, situada a -11°W e de 36°N até 42°N e finalmente a fronteira Sul, a 36°N e desde -11°W a -7°W. Na Figura 8 é reproduzida o domínio do modelo regional e a respectiva fronteira.

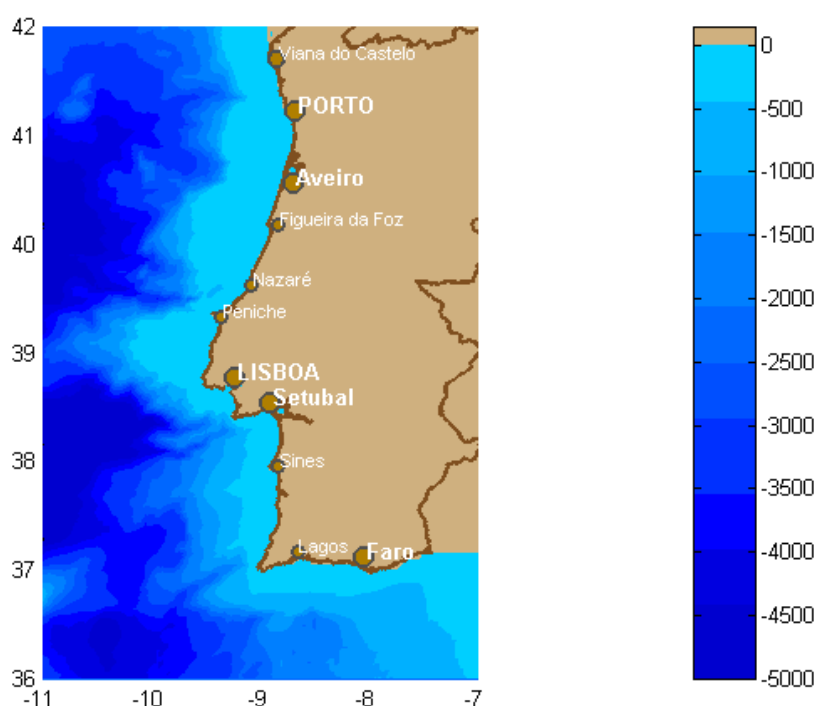


Figura 8: Área de implementação do modelo regional e respectiva fronteira.

O campo de ventos utilizado no modelo regional resulta do modelo ALLADIN, com uma resolução espacial de 0.1°, cedido pelo instituto de meteorologia Português (IM). Por forma a obter informação precisa e adequada sobre a agitação marítima junto à costa para apoio a operações anfíbias, considerou-se sub-domínios de alta resolução do domínio regional (ver Figura 9).

Foram testadas duas alternativas para o acoplamento WW3→SWAN, relacionadas com o tipo de dados transferidos do modelo global para o modelo regional; paramétrica e espectral. No primeiro caso são transferidos a altura significativa, período de pico, direcção de pico e dispersão em direcção. No segundo caso, em princípio mais rigoroso, o espectro 2D.

A comparação com os dados recolhidos das bóias disponíveis durante o período da operação permitiu inferir o desempenho do esquema montado para previsão da agitação

marítima ao longo da costa Portuguesa. Em particular, foi feita uma comparação entre o acoplamento WW3→SWAN paramétrico e espectral.

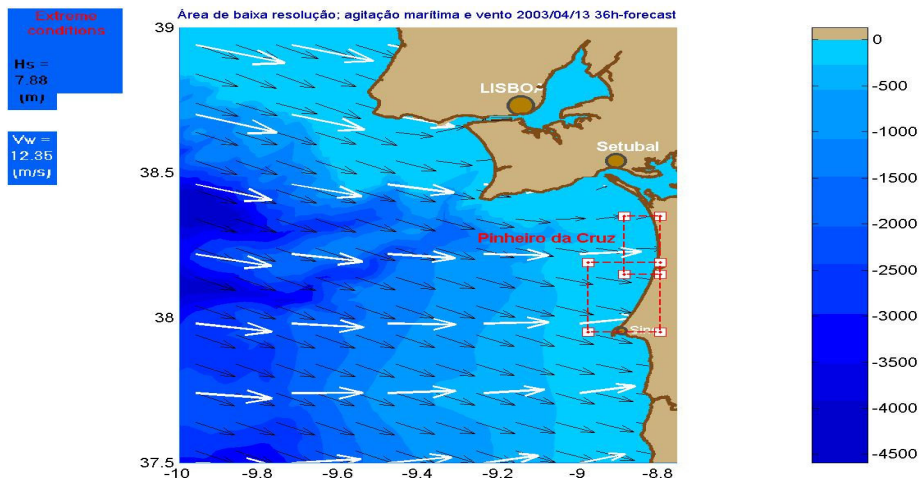


Figura 9: Sub-domínio de alta resolução na zona do exercício militar. As setas brancas representam a velocidade do vento, as setas pretas a direcção das ondas.

Nas figuras seguintes são apresentados os resultados dessa análise. No que diz respeito à altura significativa e à direcção média da ondulação, os resultados estão de acordo com as observações, não sendo muito relevante a forma como o acoplamento é realizado. Em relação aos restantes observáveis, período médio e período de pico, existe algum desacordo e uma sensibilidade significativa à forma como o acoplamento é produzido. Em geral, os resultados obtidos a partir de um acoplamento espectral (Case 2) produzem um melhor acordo com os dados observados.

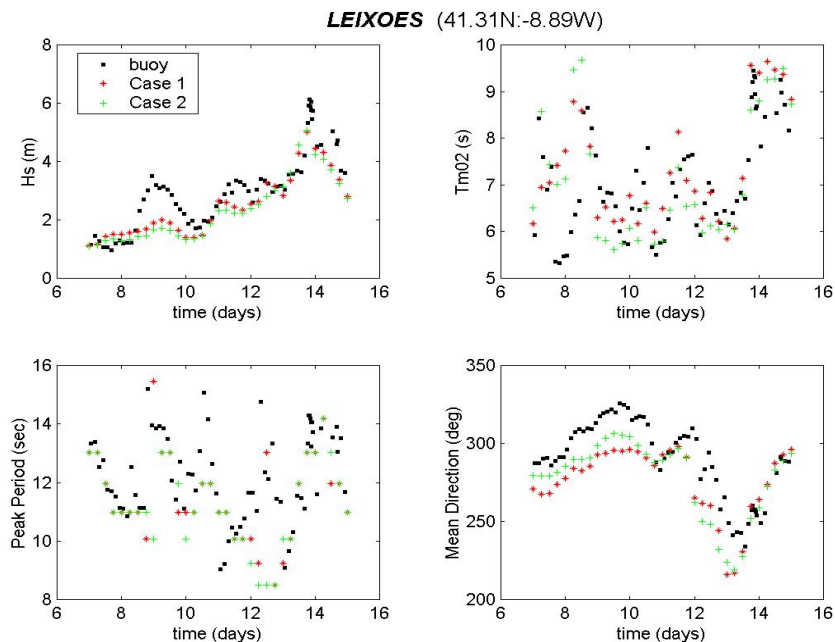


Figura 10: (Leixões) Resultados para os principais parâmetros de agitação marítima. Case 1, acoplamento WW3→SWAN paramétrico; Case 2, acoplamento WW3→SWAN espectral.

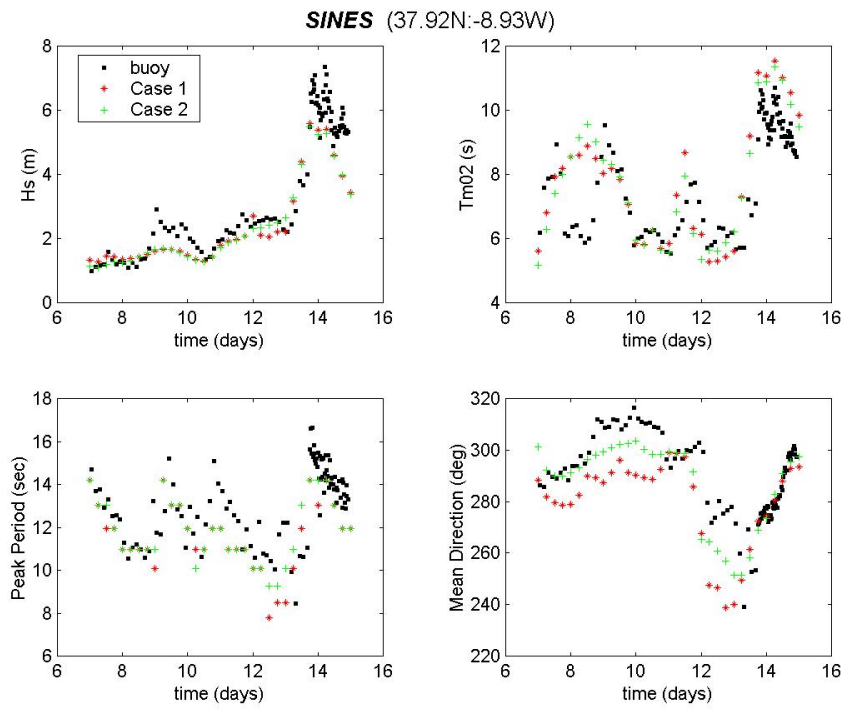


Figura 11: (Sines) O mesmo que a Figura 10

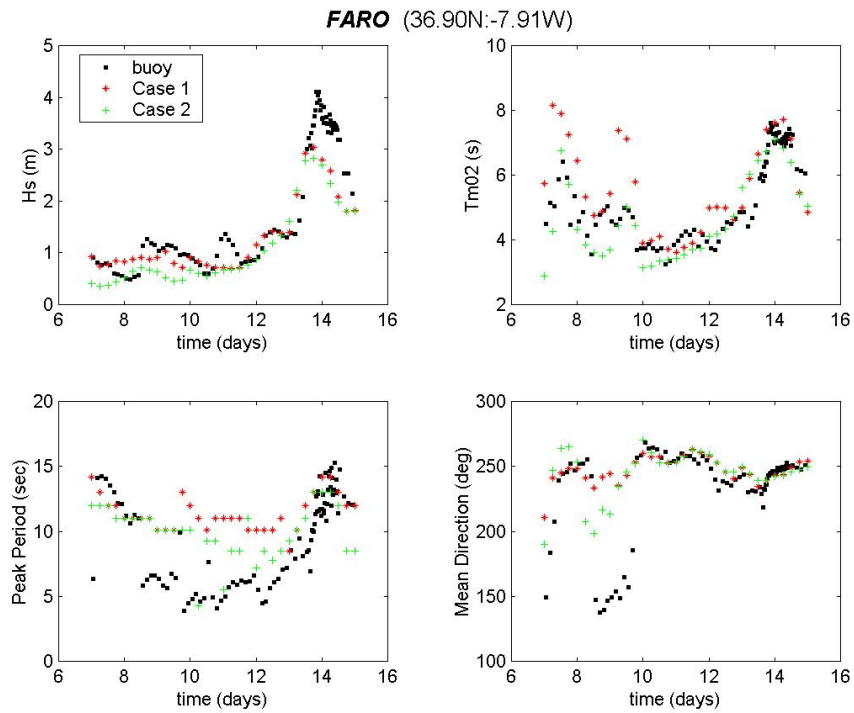


Figura 12: (Faro) O mesmo que a Figura 10.

Conclusões

O modelo oceânico WW3 foi implementado na bacia do Atlântico Norte. Simulações realizadas no mês de Dezembro de 2002 mostram um bom desempenho do modelo, especialmente os resultados obtidos através da formulação de Tolman e Chalikov. Para melhorar a descrição da agitação marítima junto à costa, considerou-se e testou-se o acoplamento do WW3 com o modelo regional para águas pouco profundas (SWAN), tendo-se verificado um acordo razoável com os dados observados nas bóias de Leixões, Sines e Faro.

O esquema aqui proposto permite prever e caracterizar a agitação marítima com elevada resolução em toda a costa continental. Como não se consideram correntes, todo o procedimento fica apenas dependente do conhecimento prévio dos campos de vento globais e regionais.

Para desenvolvimentos futuros, pretende-se implementar um esquema análogo para as regiões autónomas da Madeira e Açores, assim como criar um módulo de assimilação que melhore o desempenho dos modelos de agitação marítima, especialmente as situações extremas de tempestade.

Agradecimentos

Este trabalho constitui uma contribuição para dois projectos financiados pela Fundação Portuguesa para a Ciência e Tecnologia:

PAMMELA 2 – PDCTM/P/MAR/15242/1999

MOCASSIM – Programa de apoio aos Laboratórios de Estado do Ministério da Ciência e Tecnologia e programa operacional Ciência, Tecnologia e Inovação do quadro comunitário de apoio III.

Os autores querem ainda agradecer a importante cooperação da Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center – Monterey (FNMOC), o Instituto de Meteorologia e Puertos del Estado por providenciar os ventos de superfície e os dados da bóia de Sillero.

Referências

Rusu, E., C. V. Soares and J. P. Pinto, 2002: An interactive computational environment to evaluate the nearshore wave propagation. 3ª Assembleia Luso Espanhola de Geodesia e Geofísica, Valencia, Spain, 4-8 February.

Whitman, G. B., 1974: Linear and nonlinear waves, Wiley, New York.

Hasselmann, S., K. Hasselmann, J. H. Allender and T. P. Barnett, 1985: Computations and parameterizations of nonlinear energy transfer in a gravity-wave spectrum.

Part II: Parameterizations of the nonlinear energy transfer for application in wave models. J. Phys. Oceanogr., 15, 1378-1391.

JONSWAP, 1973: Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project. Ergaenzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, Reihe A(8), 12, 95 pp.

WAMDI, 1988: The WAM model – a third generation ocean wave prediction model. J. Phys. Oceanogr., 18, 1775-1809.

Komen, G. J., S. Hasselmann and K. Hasselmann, 1984: On the existence of a fully developed wind sea spectrum. J. Phys. Oceanogr., 14, 1271-1285.

Tolman, H. L. and D. V. Chalikov, 1996: Source terms in a third-generation wind wave model. *J. Phys. Oceanogr.*, 26, 2497-2518.

Janssen, P. A. E. M., 1989: Wave-induced stress and drag of air flow over sea waves. *J. Phys. Oceanogr.*, 19, 745-754.

Janssen, P. A. E. M., 1991: Quasi-linear theory of wind-wave generation applied to wave forecasting. *J. Phys. Oceanogr.*, 21, 1631-1642.

Tolman, H. L., 1999: User manual and system documentation of WAEVWATCH III version 1.18. Tech. Note 166, NOAA/NWS/NCEP/OMB, 99 pp.

SWAN, 2000: User manual SWAN Cycle III version 40.11. Delft University of Technology, Department of Civil Engineering, Netherlands.

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

Ris, R. C., L. H. Holthuijsen and N. Booji, 1999: A third generation wave model for coastal regions 2. Verification. *J. Geophys. Res.*, 104, C4, 7667-7681.