



4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

A METODOLOGIA DE PREVISÃO OPERACIONAL DE AGITAÇÃO MARÍTIMA NA COSTA PORTUGUESA IMPLEMENTADA NO INSTITUTO HIDROGRÁFICO

Mariana Bernardino, José Paulo Pinto, Sara Almeida, Filipe Vieira

Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa
mariana.bernardino@hidrografico.pt, paulo.pinto@hidrografico.pt,
sara.almeida@hidrografico.pt, filipe.vieira@hidrografico.pt

RESUMO

Desde Fevereiro de 2005 que o Instituto Hidrográfico, produz diariamente previsões de parâmetros de agitação marítima no Atlântico Norte e ao largo da costa Portuguesa, que são disponibilizadas ao público através da sua página na Internet.

O modelo de ondas espectral WAVEWATCH III (WW3), que cobre o Atlântico Norte com uma resolução espacial de 0.5°, é forçado pelo campo do vento produzido pelo modelo NOGAPS (1° de resolução espacial, e 6 horas de resolução temporal). Este modelo produz previsões até 144 horas, de vários parâmetros de agitação marítima como altura significativa, período e direcção média. Produz ainda as condições fronteira para o modelo espectral de ondas em zonas costeiras, SWAN (Simulating Waves Nearshore) que é aplicado a uma grelha de 0.1° de resolução que inclui a plataforma continental Portuguesa. O modelo SWAN é forçado pelo campo do vento produzido pelo modelo ALADIN (Instituto de Meteorologia) e pelo modelo NEMOC, produzindo previsões até 72 horas.

Um módulo de assimilação de dados foi acoplado ao modelo SWAN, permitindo utilizar valores medidos pelas bóias ondógrafo do IH para melhorar o campo da altura significativa.

Comparações com medições independentes permitiram avaliar o desempenho dos modelos e do módulo de assimilação.

1. Introdução

O desenvolvimento de um sistema operacional para a previsão oceanográfica, constituiu o núcleo central das actividades desenvolvidas no quadro do projecto MOCASSIM. Em paralelo, com este desenvolvimento foi também mantida uma importante actividade operacional no apoio a exercícios navais e em situações de catástrofe no mar.

A implementação de um sistema operacional de previsão de agitação marítima de elevada resolução, cujos produtos pudessem ser disponibilizados ao público em tempo útil, foi uma das consequências do trabalho desenvolvido no projecto MOCASSIM.

Desde Fevereiro de 2005 que o Instituto Hidrográfico (IH), produz diariamente previsões de parâmetros de agitação marítima no Atlântico Norte e na Costa Portuguesa, que são disponibilizados ao público através da sua página na Internet (<http://www.hidrografico.pt>).

A previsão da agitação marítima é realizada utilizando modelos numéricos de terceira geração, acoplados, forçados por campos meteorológicos cedidos por instituições com as quais o IH mantém protocolos de cooperação.



4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

Por outro lado, o facto do IH possuir equipamento no mar (em particular, três bóias ondógrafo ao largo da costa Portuguesa), que tornam acessível, e com elevada precisão, informação sobre o estado do mar, torna possível a validação dos modelos e das previsões em pontos estratégicos da Costa Portuguesa. Estas observações permitem ainda a implementação de esquemas de assimilação de dados com vista a melhorar a qualidade das previsões produzidas pelos modelos.

Neste trabalho é apresentada a metodologia de previsão operacional de agitação marítima implementada no Instituto Hidrográfico.

2. Os modelos de agitação marítima

A previsão das condições de agitação marítima, quer no Atlântico Norte quer na Costa Portuguesa, é realizada no IH através de modelos numéricos de terceira geração, concretamente o modelo oceânico WAVEWATCH III (WW3) (Tolman, 1999) e o modelo de mesoscala Simulating WAVes Nearshore (SWAN) (Booij *et al.*, 1999)

O WW3 é um modelo numérico utilizado para descrever a geração e propagação da agitação marítima no Atlântico Norte. Este é um modelo espectral de terceira geração (não assume *a priori* qualquer restrição sobre a forma do espectro) desenvolvido para escalas oceânicas e implementado no IH para prever os parâmetros de agitação marítima na plataforma continental Portuguesa e fornecer as condições de fronteira necessárias para as simulações de alta resolução junto à costa, efectuadas pelo modelo espectral costeiro SWAN.

O modelo WW3 cobre a bacia do Atlântico Norte e grande parte da bacia Mediterrânica (5° N – 70° N ; 85° W – 40° E) com uma resolução de 0.5° . A área computacional é ilustrada na figura 1. O forçamento é dado pelo vento a 10 m obtido a partir do modelo meteorológico NOGAPS fornecido pelo FNMOC (Fleet Numerical of Meteorology and Oceanography) em intervalos de 6 horas e com uma resolução espacial de 1° . A previsão é feita até 6 dias com uma resolução temporal igual à do forçamento (figura 2).

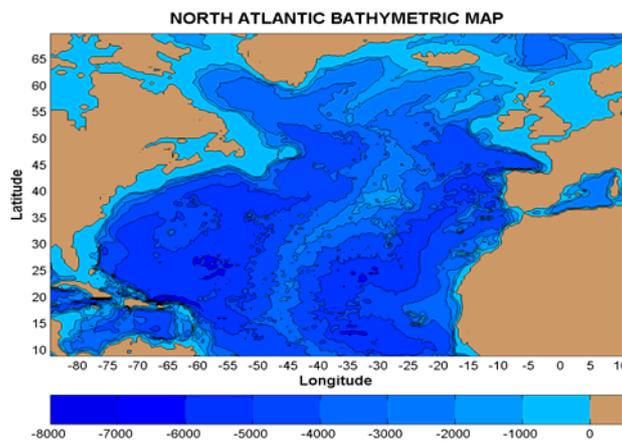


Figura 1 – Domínio geográfico das simulações do WW3

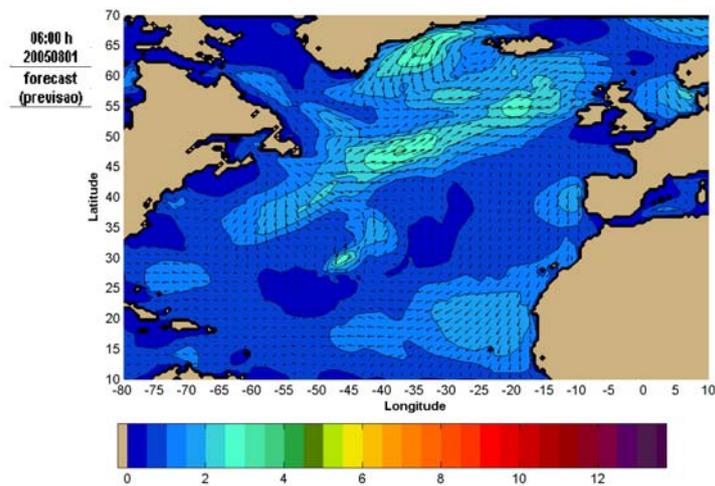


Figura 2 – Exemplo campos de altura significativa e direcção média obtidos pelo WW3

A baixa resolução do modelo global não permite no entanto uma descrição adequada dos processos associados à propagação, geração e dissipação da agitação marítima nas zonas costeiras sendo assim indispensável considerar o modelo de mesoscala Simulating WAVes Nearshore (SWAN) (Booij *et al.*, 1999). Tal como o WW3, este é um modelo espectral de terceira geração mas especialmente desenhado para regiões costeiras, lagos e estuários. Ao contrário do WW3, este modelo pode ser executado em modo estacionário o que o torna apropriado para aplicações a pequena escala onde as condições de forçamento variam lentamente em comparação com o tempo que as ondas levam a atravessar todo o domínio. Para além do vento local, o SWAN é forçado pelas condições de agitação marítima ao largo fornecidas pelo modelo global. Deste modo, o espectro 2D gerado pelo WW3 ao longo da fronteira do domínio regional é utilizado como condição fronteira pelo SWAN. Na figura 3 pode observar-se o domínio geográfico de aplicação do modelo SWAN.

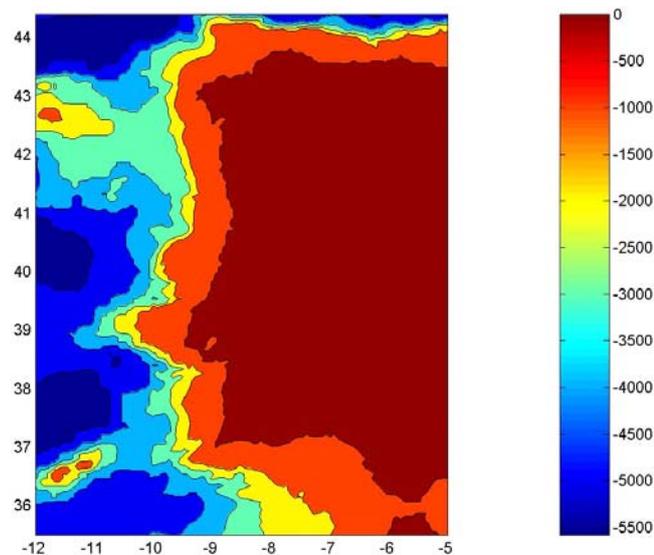


Figura 3 – Batimetria do domínio geográfico de aplicação do modelo SWAN

O modelo SWAN é aplicado numa área geográfica (35.5° N – 44.4° N; -12.0° W – -5.0° W) que cobre a Plataforma Continental Portuguesa com uma resolução de 0.1°. É forçado por condições fronteira espectrais, produzidas pelo modelo WW3, espaçadas de 0.5° ao longo das fronteiras marítimas do seu domínio e pelo campo do vento.

Para a produção dos campos de agitação marítima correspondentes à análise e às previsões até 48 horas, são utilizados os campos do vento a 10 metros produzidos pelo modelo ALADIN e cedidos pelo Instituto de Meteorologia. Para as previsões entre as 54 e as 72 horas, são utilizados campos de vento de menor resolução espacial, produzidos pelo modelo NEMOC e cedidos pelo FNMOC. Na figura 4 está representado um dos campos de altura significativa produzido pelo modelo SWAN.

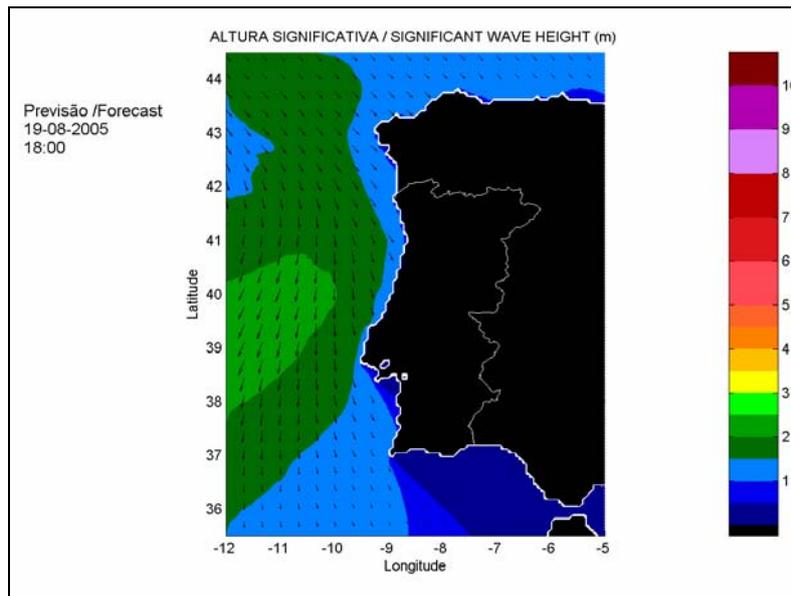


Figura 4 – Exemplo de um campos de altura significativa e direcção média previstos pelo modelo SWAN

Em caso de necessidade é possível realizar várias corridas acopladas deste modelo, com forçamentos de maior resolução para produzir campos de parâmetros de agitação marítima para áreas específicas.

A necessidade de aplicação de um modelo costeiro é facilmente constatada observando a figura 5. Nesta figura é comparado o resultado de duas simulações com a bóia ondógrafo de Leixões durante um mês. Numa das simulações considerou-se apenas o resultado do modelo global enquanto que na outra simulação se examina o acoplamento do modelo regional com o modelo global. Observa-se uma clara sub estimativa do valor da altura significativa em todo o período da simulação quando se leva em conta apenas o modelo oceânico. Esta diferença é essencialmente devida à fraca resolução espacial. De facto, a profundidade assumida pelo modelo no ponto onde se encontra a bóia de Leixões é demasiado baixa, aproximadamente 25 metros (na realidade é aproximadamente 100 metros), provocando uma dissipação fictícia devido aos efeitos de fundo. Pode assim concluir-se que o acoplamento do modelo oceânico com o modelo costeiro de alta resolução permite resolver esta discrepância obtendo-se um acordo bastante razoável com as observações.

Apesar de ser o factor mais crítico, a resolução espacial não é a única insuficiência dos modelos oceânicos na descrição da agitação marítima em ambientes costeiros. Alguns mecanismos físicos característicos de águas pouco profundas não são contemplados nestes modelos, tais como determinado tipo de interacções não-lineares (“triads”), que permite uma redistribuição da energia em frequência, ou a rebentação induzida pelo fundo. Por outro lado, o

modelo espectral SWAN também apresenta algumas limitações, não produzindo resultados coerentes em situações em que a altura das ondas varia apreciavelmente para uma escala espacial de alguns comprimentos de onda. Este é geralmente o caso em zonas portuárias onde os efeitos introduzidos por estruturas não são resolvidos duma forma precisa e também toda a zona entre a rebentação e a linha de costa. Nestes casos será necessário acoplar um modelo do tipo Boussinesq para obter uma descrição mais realista da agitação marítima.

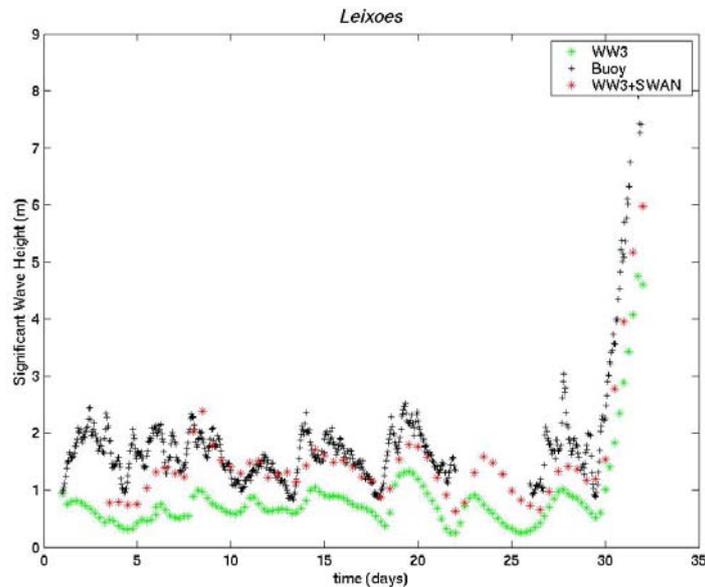


Figura 5 – Comparação entre a altura significativa medida pela bóia ondógrafo de leixões e as simulações produzidas pelo modelo ww3 e modelo ww3 acoplado com o modelo SWAN

3. As fontes de dados

Os campos de forçamento meteorológico assumem um papel fundamental na previsão das condições oceanográficas a partir de modelos numéricos. Quando se visa a previsão de condições na margem continental Portuguesa e oceano próximo, onde a dinâmica é fortemente afectada por efeitos locais do campo do vento, este papel é ainda mais importante. O sistema de previsão implantado no IH é forçado por campos meteorológicos com uma resolução espaço-temporal elevada obtidos através de colaborações com outras instituições.

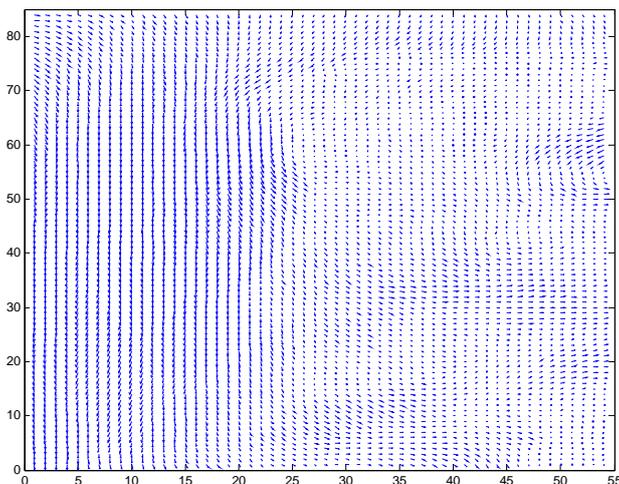


Figura. 6 – Campo de vento obtido do modelo ALADIN (IM)

O Instituto de Meteorologia (IM) - Divisão de Previsão Numérica, Processamento e Arquivo – disponibiliza diariamente os resultados do modelo ALADIN – Portugal. Este modelo cobre a uma área limitada tendo uma resolução de cerca de 12 km. O IM cede ao IH, para os principais parâmetros meteorológicos, as análises e previsões a 48 horas, para uma área que vai dos 35,1°N a 44,8°N até aos 12°W, com resolução de 0.135° por 0.11° (figura 6).

De forma a complementar os dados do modelo anterior, é possível aceder ainda aos produtos do Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center (FNMOC).

Deste Centro através do modelo NOGAPS pode obter-se previsões até às 144 horas (ou seja, 6 dias) de campos meteorológicos sobre a bacia atlântica, com uma resolução temporal de 6 horas e espacial de 1°.

Como fontes externas ao Instituto Hidrográfico, desde a fase de recuperação até à sua utilização pelos modelos de previsão WW III e SWAN existe todo um conjunto de procedimentos que se têm tentado transformar num esquema o mais automatizado possível, de forma a não dependerem da intervenção humana.

No entanto, a situação não é ainda a ideal e para o caso dos dados globais, a sua recepção ainda é realizada de forma encriptada, havendo a necessidade da utilização de um software de visualização com exportação para ficheiros ascii para produzir campos que possam ser posteriormente utilizados pelos modelos de previsão. Na figura 7, está representado o software utilizado.

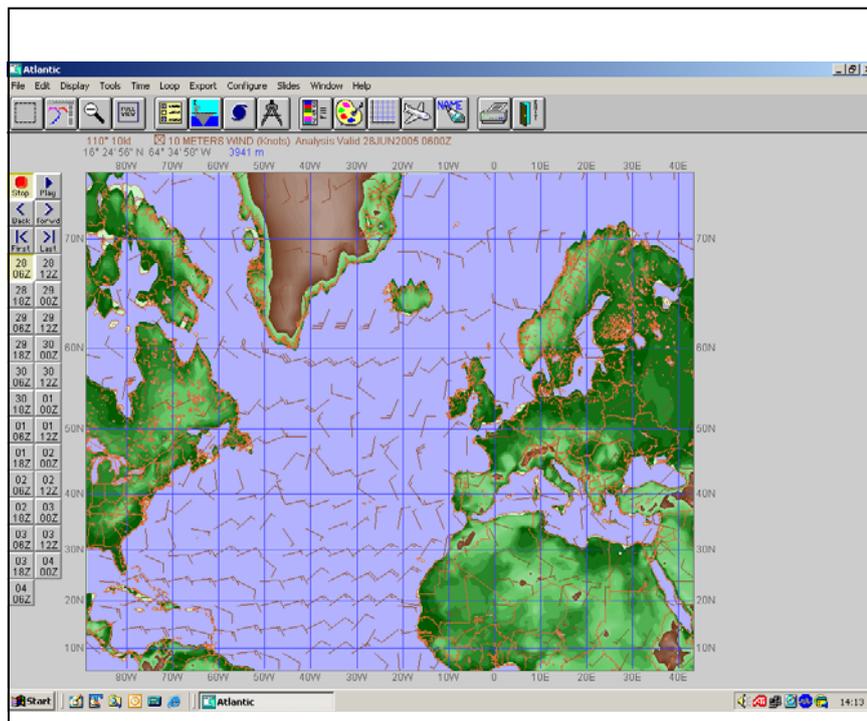


Figura 7 – Campo de vento obtido do modelo NOGAPS (FNMOC)

Paralelamente e fazendo uso da rede de bóias ondógrafo que o Instituto Hidrográfico monitoriza, estão disponíveis ainda dados de agitação marítima em três locais da Costa Portuguesa: Leixões, Sines e Faro/Olhão.

Diariamente estas estações são interrogadas e são recuperados os espectros de energia e os parâmetros referentes ao dia anterior; de seguida estes valores são carregados na base de dados de agitação.

A utilidade destes registos apresenta-se inquestionável uma vez que permite a comparação entre os resultados previsionais obtidos através da modelação e os valores reais provenientes da monitorização ambiental. Estes dados podem ainda ser assimilados no modelo SWAN através de um módulo de assimilação que utiliza o método de Interpolação Óptima.

4. A metodologia operacional

A aplicação de um sistema de previsão em modo operacional implica a resolução de problemas que não se apresentam quando da execução dos mesmos modelos com outro tipo de objectivos. A disponibilidade dos dados na altura necessária e o tempo de execução dos modelos são de importância fulcral na produção de previsões em tempo útil.

Assim o primeiro passo na produção das previsões é a aquisição dos campos de vento, para forçamento do modelo WW3, disponibilizados pelo FNMOC. São utilizados os campos da corrida das seis horas que se encontram disponíveis cerca de seis horas mais tarde. Nessa altura o WW3 começa a ser executado produzindo apenas no final os campos dos parâmetros de agitação marítima e os ficheiros com as condições fronteira espectrais que vão ser utilizadas no modelo SWAN. Uma vez que apenas na manhã do dia seguinte estão disponíveis as condições fronteira para o modelo SWAN, foi decidido esperar que estejam disponíveis os campos de vento do modelo ALADIN e do modelo NEMOC, correspondentes à corrida das zero horas para começar a execução do modelo SWAN. Assim as análises e as previsões do modelo SWAN só estão finalizadas no começo da tarde.

O pós processamento dos resultados dos dois modelos é realizado através de rotinas MatLab de visualização dos campos dos parâmetros de agitação marítima especialmente desenvolvidas para o efeito. As figuras resultantes são transferidas para a divisão de multimédia que procede a sua publicação na página do IH, durante a tarde.

5. Avaliação dos resultados

Para avaliar o desempenho dos modelos de previsão durante o período em que estes têm sido executados diariamente, procedeu-se à comparação das séries temporais de altura significativa e período de pico medidas em cada uma das três bóias e os valores da análise às zero horas simulados pelo modelo SWAN em pontos com as mesmas coordenadas geográficas.

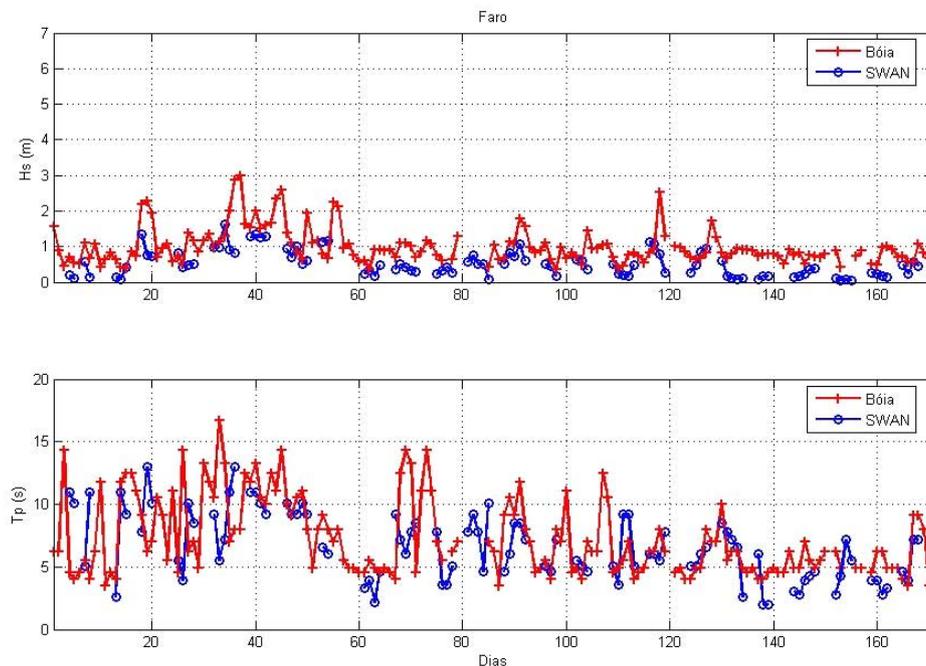


Figura 8 – Comparação entre os valores de altura significativa e período de pico, observados na bóia de Faro e as análises produzidas pelo modelo SWAN para o mesmo local.

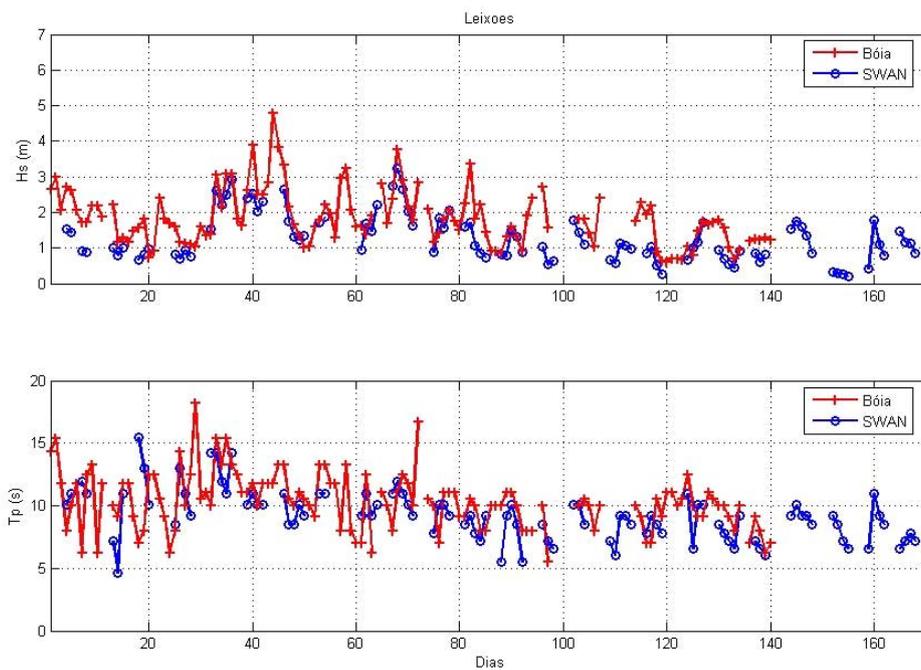


Figura 9 – Como a figura 9 mas para a bóia de Leixões.

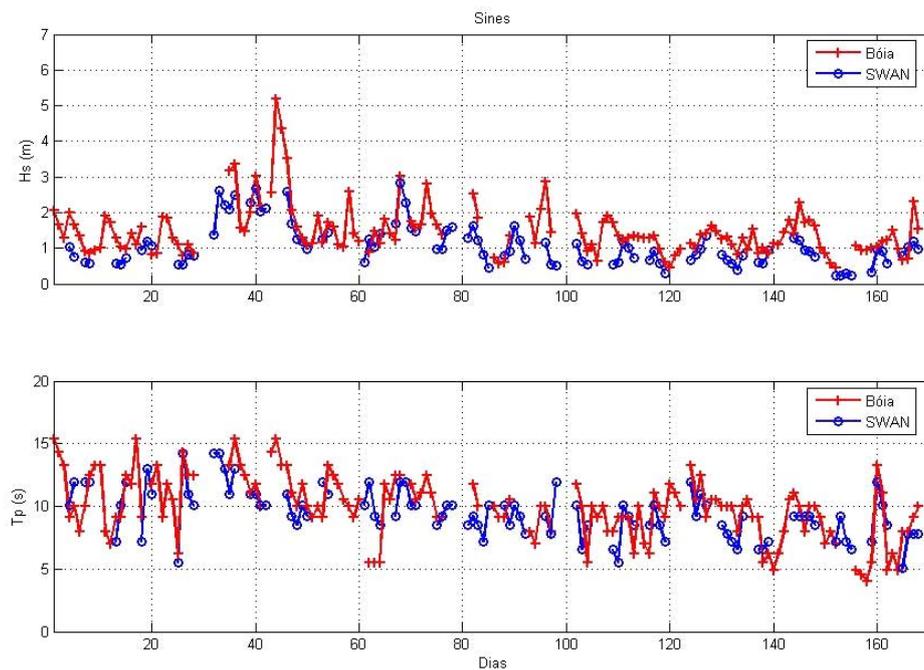


Figura 10 – Como a figura 8 mas para a bóia de Sines.

Foi também calculado o coeficiente de correlação entre as observações e a análise bem como a raiz do erro médio quadrático. Os resultados destas estatísticas podem ser observados na tabela 1.



4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

Observando as figuras 8, 9 e 10, podemos verificar que o modelo reproduz de um modo satisfatório as condições de agitação observadas pelas bóias. No caso das alturas significativas (H_s) as maiores discrepâncias surgem em situações em que este parâmetro toma valores mais elevados. É interessante observar que para a bóia de Faro o modelo parece persistentemente subestimar as observações. No caso do período de pico (T_p), a reprodução pelo modelo das condições observadas é no entanto de menor qualidade.

Observando os resultados das estatísticas apresentados na tabela 1, verifica-se para a bóia de Faro que as correlações entre as observações e as simulações apresentam valores mais baixo (H_s - 52% e T_p - 35%). Para os outros dois pontos, as correlações são acima dos 75% no caso das alturas significativas, tomando valores mais baixos para o período de pico (Leixões - 44% e Sines 62%). Observando os valores obtidos para a raiz do erro médio quadrático entre as análises e as observações, verifica-se que a altura significativa apresenta da ordem do meio metro enquanto que o período apresenta um erro que varia entre os 1.7 s para Sines e 2.4 s para Faro.

Tabela 1 – Coeficiente de correlação e raiz do erro médio quadrático entre observações e as análises para as séries temporais de valores de altura significativa e período de pico.

	Número de instantes	Coeficiente de Correlação %		Raiz do erro médio quadrático	
		H_s	T_p	H_s (m)	T_p (s)
Faro	95	52	35	0.51	2.4
Leixões	76	78	44	0.52	1.9
Sines	84	77	62	0.48	1.7

6. O módulo de assimilação de dados

O módulo de assimilação de dados ainda não se encontra implementado de um modo operacional na metodologia de previsão de condições de agitação marítima descrita neste trabalho. No entanto o módulo de assimilação já se encontra desenvolvido e foi também já validado em algumas situações não operacionais.

O facto desde modulo não se encontrar ainda a funcionar integrado na metodologia operacional aqui descrita deve-se unicamente a problemas logístico de disponibilização dos dados das bóias em tempo útil.

Descreve-se de seguida o metodologia de assimilação utilizada.

Optou-se por escolher um método sequencial designado por Interpolação Óptima (Optimal Interpolation), uma vez que este método é computacionalmente eficiente e não requer recursos computacionais demasiado elevados, seguindo de perto o método descrito por Lionello et al. (1992). Pretendeu-se assimilar valores de altura significativa medidos por três bóias ondógrafo na costa Portuguesa com o objectivo de melhorar o campo da mesma variável produzida pelo modelo SWAN.

Uma vez que a altura significativa não é uma quantidade dinâmica no modelo, mas apenas um *output* calculado a partir do espectro torna-se necessário proceder a reconstrução do espectro a partir da altura significativa após esta ser modificada.

Assim a metodologia de assimilação consta de duas etapas: a primeira é a construção do campo da altura significativa analisado e a segunda a reconstrução do espectro a partir deste campo.



4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

Para a construção do campo da altura significativa procedeu-se do seguinte modo: em cada ponto x_i a altura significativa obtida por análise é designada por H_A^i é expressa como uma combinação linear de H_P^j ($j=1,N$), que representam uma primeira aproximação produzida pelo modelo, e de H_O^j , que representam as observações:

$$H_A^i = H_P^i + \sigma_P^i \sum_{j=1}^{Nobs} W_{ij} \frac{H_O^j - H_P^j}{\sigma_P^j} \quad (Eq. 1)$$

Onde N_{obs} representa o número de observações disponíveis e σ_P^i a raiz do erro médio quadrático no modelo de previsão.

$$\sigma_P^i = \left\langle (H_O^j - H_T^j)^2 \right\rangle^{1/2} \quad (Eq. 2)$$

Onde H_T^j representa o valor real da altura significativa

Os pesos W_{ij} são escolhidos para minimizar a raiz do erro médio quadrático na análise σ_A^i

$$\sigma_A^i = \left\langle (H_A^j - H_T^j)^2 \right\rangle^{1/2} \quad (Eq. 3)$$

Admitindo que os erros no modelo não estão correlacionados com os erros nas medições, a solução será:

$$W_{ij} = \sum_{k=1}^{Nobs} P_{ik} M_{kj}^{-1} \quad (Eq. 4)$$

Onde os elementos da matriz M são dados por $M_{kj} = P_{kj} + O_{kj}$, onde P e O são respectivamente as matrizes de correlação dos erros nas previsões e nas observações.

Deste modo as matrizes de correlação quer das previsões quer das observações tem de ser especificadas, o que na prática envolve o calculo de parâmetros estatísticos que são de momento impossíveis de obter visto envolverem uma grande quantidade de dados, que não se encontram disponíveis.

Assim segundo a metodologia de Lionello e tal. (1992), assumiu-se as seguintes formas para as matrizes de correlação:

$$P_{kj} = \exp\left(-\frac{|x_k - x_j|}{L_{max}}\right) \quad (Eq. 5)$$

E os erros observacionais foram assumidos como aleatórios e não correlacionados:

$$O_{ij} = \delta_{ij} \left(\frac{\sigma_O^i}{\sigma_P^i} \right) = \delta_{ij} R_i \quad (Eq. 6)$$

Os valores dos parâmetros L_{max} e R_i foram estimados de modo a minimizar o erro médio e a raiz do erro médio quadrático da altura significativa analisada num ponto onde se dispõe de medições independentes e os valores correspondentes aí observados. Foi ainda introduzida a simplificação adicional de supor que o erro na previsão é constante em todos os pontos o que leva a que a equação 1 se reduza a:

$$H_A^i = H_P^i + \sum_{j=1}^{Nobs} W_{ij} (H_O^j - H_P^j) \quad (Eq. 7)$$

A reconstrução do espectro a partir do campo da altura significativa foi efectuada através da simples multiplicação do espectro em cada ponto pelo factor $\left(\frac{H_A}{H_P}\right)^2$, sem proceder a qualquer tipo adicional de alteração. Seguiu-se o procedimento descrito por Esteva (1988), apesar de Lionello e tal. (1992) defenderem que a simples multiplicação do espectro por este factor não conduz a resultados satisfatórios no modelo WAM.

O módulo de assimilação foi implementado no modelo SWAN de um modo externo; o modelo é executado durante um determinado período de tempo e no instante t em que se pretende fazer a assimilação o campo da altura significativa é produzido assim como um ficheiro contendo a totalidade do campo de ondas e que pode ser utilizado como condição inicial da corrida seguinte do modelo. Nesse mesmo instante t, os dados das bóias disponíveis numa janela temporal pré-definida centrada em t, são recolhidos. A matriz dos pesos w_{ij} é calculada com base nas distancias entre os pontos da grelha e as bóias que possuem dados disponíveis nesse período. De seguida, o campo da altura significativa analisada é calculado a partir da equação 7, usando o campo calculado pelo modelo, os valores observados nas bóias, a matriz dos pesos e os parâmetros L_{max} e R_i .

O espectro nos pontos do modelo é então modificado sendo multiplicado pelo factor $\left(\frac{H_A}{H_P}\right)^2$ e de novo introduzido no modelo SWAN como condição inicial da corrida seguinte.

A validação dos resultados obtidos quando da utilização do módulo de assimilação foi realizada através da comparação dos resultados do modelo SWAN com e sem assimilação com medições independentes realizadas por um ADCP ao largo de Óbidos durante o período compreendido entre 7 e 14 de Abril de 2003. As séries temporais dos valores de altura significativa, medidos e simulados, durante o período de sete dias podem ser observadas na figura 11.

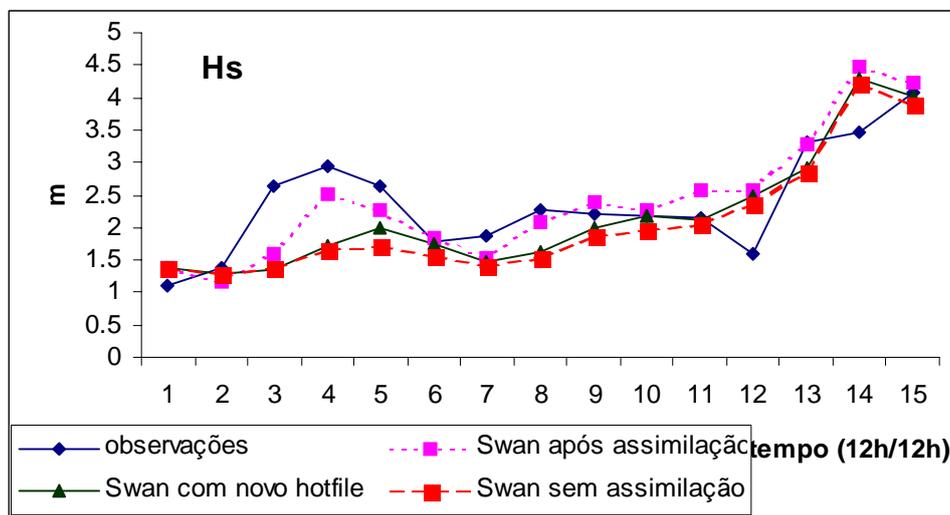


Figura 11. Comparação da altura significativa obtida no ADCP-óbidos, no ponto da malha do modelo SWAN sem assimilação, com assimilação, mas sem modificação do espectro e com assimilação e modificação do espectro, durante o período compreendido entre 7 e 14 de Abril de 2003.

Pode constatar-se que apesar da simulação produzida pelo modelo SWAN ser razoável, especialmente para alturas significativas inferiores a dois metros, a introdução de do módulo de



4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

assimilação melhora significativamente a qualidade da simulação, inclusive nas situações em que as alturas significativas observadas, são mais elevadas.

Assim a implementação operacional deste modulo mostra-se de grande importância na melhoria da qualidade das previsões produzidas e será realizada em breve.

7. Conclusões

Desde Fevereiro de 2005 que o IH produz diariamente campos de vários parâmetros de agitação marítima no Atlântico Norte e na Costa Portuguesa, que publica na sua página da Internet. Os resultados gerados pelos modelos são validados por observações adquiridas em três bóias na Costa Portuguesa.

Além da utilidade indiscutível que este produto possa ter para o público em geral, tem ainda a vantagem de gerar uma base de dados de agitação marítima em pontos da costa e ao largo onde não existe informação observacional. Os resultados obtidos pelos modelos permitirão por exemplo realizar uma análise espacial dos campos dos diferentes parâmetros de agitação.

A implementação de um módulo de assimilação de dados utilizando a informação proveniente das bóias, trará no futuro uma melhoria da qualidade dos resultados obtidos pelos modelos.

8. Referências

- Anon. (2002). "User's Manual for the Metcast Client Segment", Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center and Computer Sciences Corporation, Monterey, CA
- Booji, N., Ris, R.C. and Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions – 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, **104**, 7649 – 7666.
- Esteva, D.C.: Evaluation of preliminary experiments assimilating Seasat significant wave heights into a spectral wave model. *J. Geophys. Res.*, **93**, 14099-14106, 1988.
- Grupo Mocassim (2004). "Desenvolvimentos das competências nacionais para a implementação de modelos oceanográficos de assimilação de dados – MOCASSIM – Junho a Novembro de 2003", REL. PT-OC-01/04, Instituto Hidrográfico, Lisboa
- Lionello, P., Gunther, H., Janssen, P.A.E.M., 1992: Assimilation of altimeter data in a global third generation wave model. *J. Geophys. Res.*, **97** (C7), 14453-14474.
- Tolman, H.L., (1999). User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 1.18. Tech. Note 166, NOAA/NWS/NCEP/OMB, 99 pp.
- Vitorino, João (2001). "Desenvolvimentos das competências nacionais para a implementação de modelos oceanográficos de assimilação de dados – MOCASSIM – Junho a Novembro de 2001", REL. PT-OC-07/01, Instituto Hidrográfico, Lisboa