

# VERIFICAÇÃO DA ALTURA SIGNIFICATIVA NA COSTA PORTUGUESA NOS INVERNOS DE 2007/08 E 2008/09 PRODUZIDA POR MODELOS NUMÉRICOS

Sérgio Muacho<sup>(1)</sup>, Anabela Carvalho<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto de Meteorologia, Rua C Aeroporto 1749-077 Lisboa, [sergio.muacho@meteo.pt](mailto:sergio.muacho@meteo.pt)

<sup>(2)</sup> Instituto de Meteorologia, Rua C Aeroporto 1749-077 Lisboa, [anabela.jc@meteo.pt](mailto:anabela.jc@meteo.pt)

## Resumo

Foi efectuada uma verificação objectiva dos modelos de previsão de agitação marítima utilizados para fins operacionais no Instituto de Meteorologia, I.P. (IM), nomeadamente o WAM (modelo de agitação marítima do *European Center for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF)) e o modelo de ondas MAR3G (IM), nos períodos de Dezembro a Março de 2007/2008 e 2008/2009, em geral caracterizados por episódios de forte agitação marítima.

Com o intuito de aferir a qualidade das previsões (até 48 horas) de altura significativa (Hs) produzida pelos modelos numéricos para a costa continental portuguesa, foram determinados vários parâmetros estatísticos que permitiram avaliar o erro, assim como analisar diversos *scores* que derivam das tabelas de contingência.

## Introdução

A evolução da capacidade computacional permitiu nos últimos anos uma melhoria significativa da qualidade das previsões dos modelos de agitação marítima. Em consequência, torna-se necessário acompanhar e validar as novas ferramentas de trabalho que diariamente são disponibilizadas operacionalmente nos centros de análise e previsão do tempo.

O modelo de agitação marítima WAM do ECMWF e o modelo de ondas geradas pelo vento, MAR3G, desenvolvido no IM e utilizado operacionalmente desde 1996, são modelos globais de terceira geração que partilham dos mesmos princípios físicos como o crescimento das ondas devido ao vento, a dissipação de energia através da rebentação das ondas e a transferência de energia entre as componentes espectrais das ondas, por meio de interações não lineares.

O modelo MAR3G, desenvolvido por Oliveira Pires (1993), utiliza uma projecção estereográfica polar sobre o Atlântico Norte com uma resolução de 300km x 300km a 60° de latitude Norte e possui uma discretização espectral de 13 frequências e 12 direcções.

O WAM é um modelo global que beneficiou nestes últimos anos de aperfeiçoamentos do modelo

atmosférico, dos termos da física aplicada ao modelo de ondas, assim como, da assimilação de dados de altimetria (ENVISAT, Jason-1 e Jason-2) e de dados do *scatterometer* (ERS-2, QuikScat e ASCAT) proporcionando um incremento na qualidade dos seus parâmetros. Presentemente, o modelo WAM possui uma discretização espectral de 30 frequências e 24 direcções sendo que a informação utilizada no IM apresenta uma resolução de 0.5° x 0.5°.

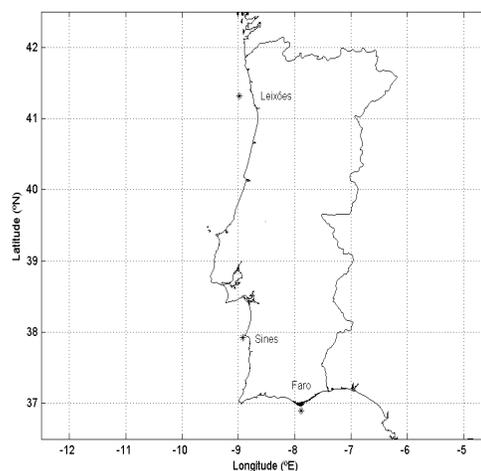


Fig. 1 – Localização das bóias ondógrafo do Instituto Hidrográfico

A verificação focou-se no desempenho das previsões efectuadas pelos modelos para o parâmetro Hs durante os períodos de Inverno (2007/08 e 2008/09), tendo sido dada especial ênfase à performance dos modelos em situações em que é necessária a emissão de avisos meteorológicos de agitação marítima (Hs superior a 4 m na costa ocidental e Hs superior 2 m na costa sul).

## Metodologia

Os modelos de agitação marítima geram resultados de Hs para os pontos da malha sobre o seu domínio. Com o intuito de avaliar a sua performance, os resultados dos modelos foram comparados com as observações *in-situ* de três bóias ondógrafo pertencentes ao Instituto Hidrográfico, que se encontram localizadas ao largo da costa portuguesa, próximo de Leixões, Sines e Faro (Fig. 1).

A verificação assentou na análise comparativa entre os valores observados pelas bóias e os valores calculados pelos modelos WAM e MAR3G, às 12 UTC, para o ponto da malha mais próximo do local em que se encontram situadas cada uma das bóias (Fig. 2 e 3).

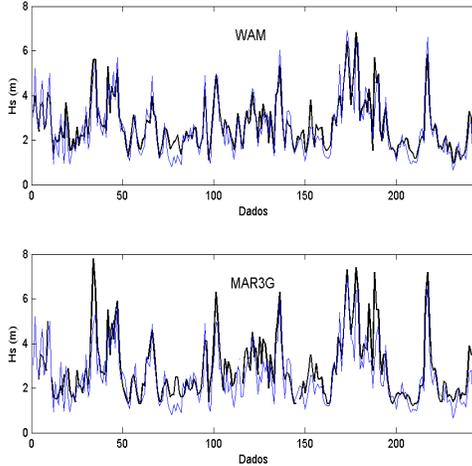


Fig. 2 – Série temporal das previsões de Hs para T+24h dos modelos (a preto) e das observações (a azul) ao largo de Leixões.

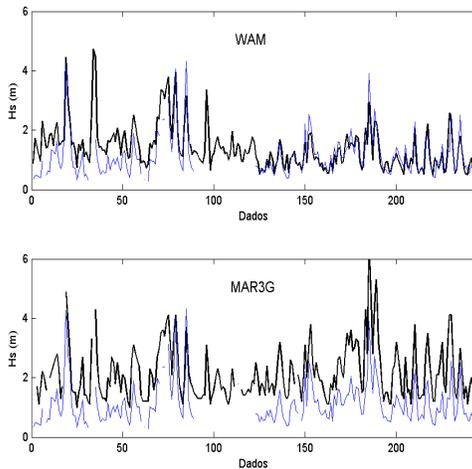


Fig. 3 – Série temporal das previsões de Hs para T+24h dos modelos (a preto) e das observações (a azul) ao largo de Faro.

Nesse âmbito, foram aplicados determinados parâmetros estatísticos de avaliação do erro de acordo com a metodologia adoptada pela WMO (e.g., WMO, 1998), tais como o erro médio (BIAS), o erro médio quadrático (*Root Mean Square Error* (RMSE)), o índice de dispersão (*Scatter Index* (SI)) e o coeficiente de correlação (*Correlation Coefficient* ( $R^2$ )), para as previsões a 24 e 48 horas:

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{iprev} - x_{iobs}) \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{iprev} - x_{iobs})^2} \quad (2)$$

$$SI = \frac{RMSE}{x_{iobs}} \quad (3)$$

Considerando  $n$  a dimensão da amostra,  $x_{iprev}$  o valor do parâmetro previsto pelo modelo e  $x_{iobs}$  o valor observado do parâmetro no mesmo local e instante.

Tendo em conta, que o estudo centrou-se em meses de Inverno, representativos de forte agitação marítima, pretendemos avaliar de que forma os modelos detectam situações em que é necessária a emissão de avisos meteorológicos para o mar, assim como taxas de falsos alarmes e um *score* idealizado para eventos extremos (Doswell, 1990). Nesse sentido, foram calculados os valores de Probabilidade de Detecção (*Probability Of Detection* (POD)), Taxas de Falsos Alarmes (*False Alarm Ratio* (FAR)) e o *Heidkle Skill Score* (HSS).

$$POD = \frac{\text{previsões correctas}}{\text{observado}} \quad (4)$$

$$FAR = \frac{\text{previsto não observado}}{\text{observado}} \quad (5)$$

$$HSS = \frac{2(h \times cn - m \times fa)}{(h + m)(m + cn) + (h + fa)(fa + cn)} \quad (6)$$

Em que *hits* são as previsões certas para o evento extremo (e.g., Hs > 4 m na costa ocidental), os *correct negatives* correspondem a previsões correctas mas contrárias à do evento extremo (Hs < 4 m na costa ocidental), os *false alarms* ocorrem quando os modelos prevêm o evento mas este não é observado e os *misses* registam-se quando os modelos não previram o evento ocorrido.

Em suma, o HSS calcula a fracção de previsões correctas depois de eliminar aquelas que foram certas mas de uma forma aleatória (Zomeren, 2007), constituindo um resultado muito relevante neste estudo.

## Resultados

Nesta fase apresenta-se, através das Figuras 4, 5, 6 e 7, a performance estatística de cada um dos modelos nas previsões a 24 e 48 horas para a costa ocidental

(aplicando os dados de Leixões e Sines) e a costa sul portuguesa (dados de Faro).

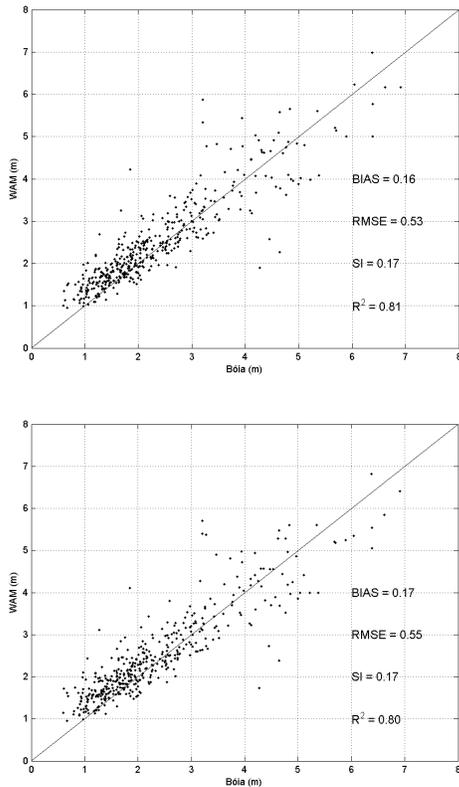


Fig. 4 – Diagrama de dispersão e parâmetros estatísticos de avaliação do erro, relativo ao modelo WAM na costa ocidental para T+24h (em cima) e T+48h (em baixo)

A análise dos resultados obtidos para a costa ocidental portuguesa (Fig. 4 e 5) evidencia, em ambos os modelos, a tendência para sobrestimar o parâmetro Hs (BIAS positivo). O WAM sobrestima menos do que o MAR3G, tanto para T+24h (0.16 e 0.39) como em T+48h (0.17 e 0.40). O modelo MAR3G é também aquele que apresenta um RMSE superior em qualquer das previsões (0.79 e 0.80, respectivamente para T+24h e T+48h) em comparação com os valores obtidos pelo WAM (0.53 e 0.55). Resultados similares foram obtidos para o índice de dispersão (0.17 no WAM e 0.26 no MAR3G, para qualquer das previsões). Além dos parâmetros estatísticos já referidos, o WAM acaba por exibir um maior coeficiente de correlação com o observado (0.81 e 0.80) comparativamente ao modelo MAR3G (0.73).

Os resultados relativos à costa a sul portuguesa (Fig. 6 e 7) indicam uma propensão para os modelos sobrestimarem Hs. Similarmente ao que se verifica na costa ocidental, também na costa sul é o WAM que revela uma menor discrepância, em média, entre Hs calculado e observado quer para T+24h (0.22 de BIAS ao invés de 1.05 no MAR3G), quer para T+48h (0.24 e 1.04 no MAR3G). O WAM foi igualmente o modelo que obteve menores valores de

RMSE (0.52 e 0.53), abaixo dos valores registados pelo MAR3G (1.16 e 1.15), assim como, no índice de dispersão (0.34 e 0.35 no WAM e 0.93 e 0.92 no MAR3G). Todavia, foi o MAR3G que apresentou um coeficiente de correlação mais elevado (0.72 e 0.71 face a 0.61 e 0.62 registados no WAM).

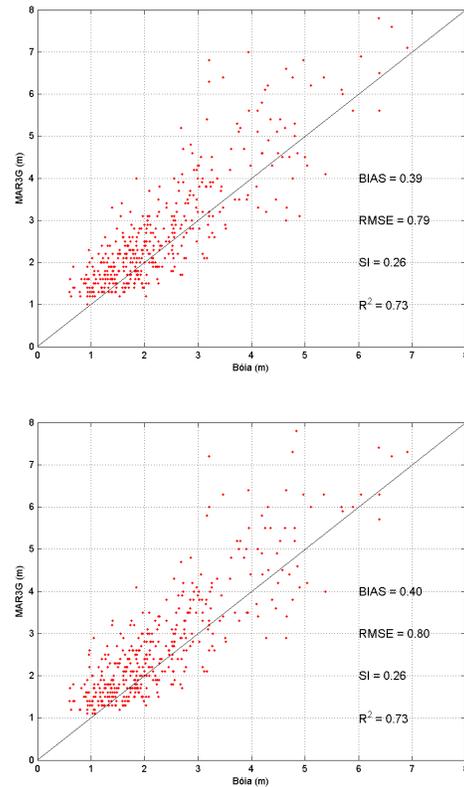


Fig. 5 – Diagrama de dispersão e parâmetros estatísticos de avaliação do erro, relativo ao modelo MAR3G na costa ocidental para T+24h (em cima) e T+48h (em baixo)

Nesta secção, pretendemos analogamente aferir os valores de POD, FAR e HSS para os modelos WAM e MAR3G nas previsões a 24 e 48 horas em situações de aviso de agitação marítima forte para a costa ocidental e a costa sul portuguesa, estando os valores presentes na Tabela 1 e 2.

### Discussão

Os resultados mostram que o modelo WAM foi aquele que apresentou, globalmente, uma melhor precisão nas previsões de Hs para a nossa costa durante período avaliado. Os parâmetros estatísticos demonstram que a qualidade dos modelos é superior na costa ocidental. Nesta zona, o WAM consegue obter valores de BIAS, RMSE e de SI significativamente inferiores (em cerca de metade) ao do MAR3G. De notar que o valores do BIAS pelo WAM (0.16 e 0.17) encontram-se muito próximos de 0.15 m definido por Janssen (2006) como um valor qualitativamente bom para o BIAS, considerando um período de Inverno.

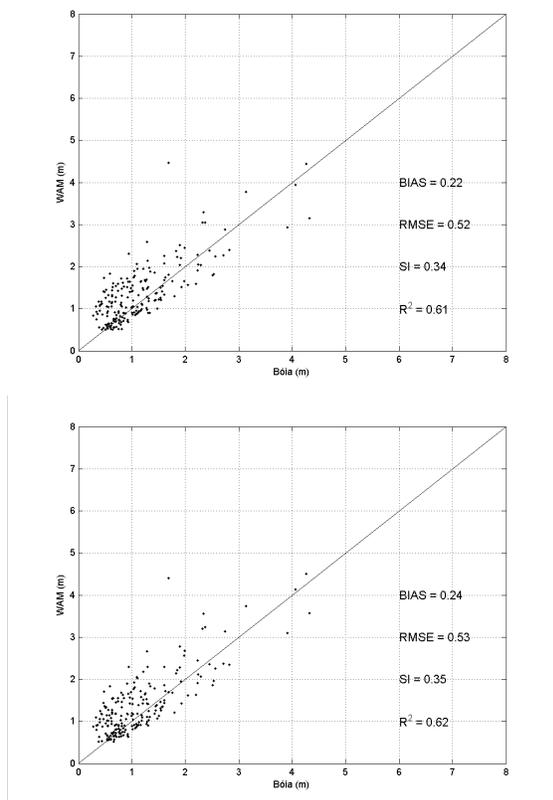


Fig. 6. – Diagrama de dispersão e parâmetros estatísticos de avaliação do erro, relativo ao modelo WAM na costa sul para T+24h (em cima) e T+48h (em baixo)

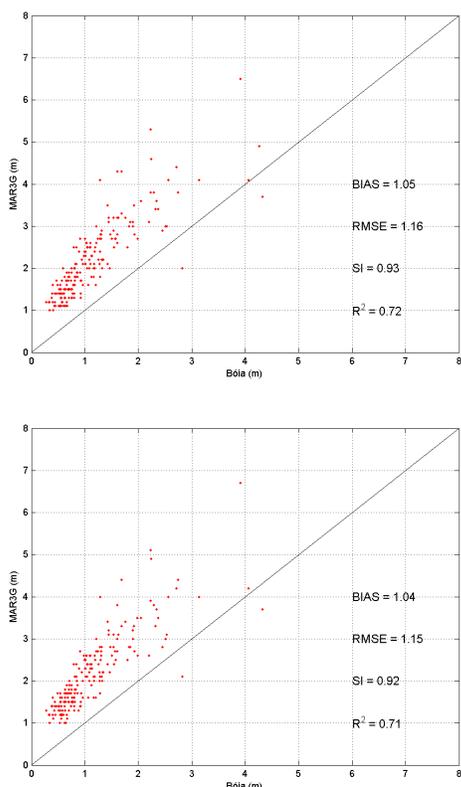


Fig. 7. – Diagrama de dispersão e parâmetros estatísticos de avaliação do erro, relativo ao modelo MAR3G na costa sul para T+24h (em cima) e T+48h (em baixo)

Centrando a avaliação na costa sul, torna-se evidente uma degradação comum a quase todos os parâmetros estatísticos usados na avaliação do erro. Esta menor precisão é mais notória para o modelo MAR3G (*e.g.*, o BIAS passa de 0.39 na costa ocidental para e 1.05 na costa sul para a previsão a 24 horas).

Apesar do modelo WAM ser aquele que apresentou índices mais elevados de exactidão nas previsões para a costa sul, os valores de BIAS e de SI diminuíram em relação aos obtidos na costa ocidental.

Hs>4m	WAM (T+24h)	WAM (T+48h)	MAR3G (T+24h)	MAR3G (T+48h)
POD	0.72	0.65	0.82	0.79
FAR	0.27	0.30	0.41	0.43
HSS	0.69	0.64	0.64	0.62

Tabela 1 – Valores de POD, FAR e HSS para Hs na costa ocidental portuguesa nos Invernos de 2007/08 e 2008/09

Hs>2m	WAM (T+24h)	WAM (T+48h)	MAR3G (T+24h)	MAR3G (T+48h)
POD	0.76	0.76	0.95	1.00
FAR	0.45	0.47	0.78	0.79
HSS	0.59	0.58	0.21	0.21

Tabela 2 – Valores de POD, FAR e HSS para Hs na costa sul portuguesa nos Invernos de 2007/08 e 2008/09

Os resultados expressos nas Tabelas 1 e 2, que derivam de tabelas de contingência, indicam que na costa ocidental os valores de POD obtidos com o modelo MAR3G são superiores aos do WAM (da ordem dos 10-14%). Apesar da probabilidade de detecção de situações de Hs superior a 4 m na costa ocidental ser maior com o MAR3G, este apresenta taxas de FAR mais elevadas (em cerca de 13%) que o WAM.

Na costa sul, valores mais elevados de POD foram obtidos pelo MAR3G (detectando aproximadamente 20% mais situações que o WAM em que Hs > 2m), mas apresentando índices de FAR significativamente elevados (0.78 e 0.79 para a previsão a 24 e 48 horas, respectivamente) comparativamente ao WAM (0.45 e 0.47).

As Tabelas 1 e 2 permitiram apurar que o modelo MAR3G apresenta um POD e um FAR superior ao WAM, conduzindo por um lado a uma maior taxa de detecção de situações que determinam a difusão de avisos de agitação marítima embora incorrendo um risco superior de falsos alarmes. Valores mais elevados de HSS, foram registados pelo WAM na costa ocidental (0.69 e 0.64), embora o MAR3G não se tenha afastado muito (0.64 e 0.62) desses resultados. Da mesma forma, foi o WAM que na costa sul registou melhores índices de HSS (0.59 e 0.65) com o MAR3G a ter uma performance

significativamente inferior (0.21 em ambas as previsões).

### **Conclusões e trabalho futuro**

O presente estudo permitiu concluir que o modelo WAM foi o que produziu os resultados mais exactos para os Invernos de 2007/08 e 2008/09, pois registou, entre outros parâmetros, um HSS mais elevado. Os resultados apresentados para a costa sul indicam que os modelos apresentam uma menor qualidade comparativamente aos obtidos na costa ocidental.

A avaliação dos parâmetros estatísticos associados ao erro sustentam que o WAM teve um bom desempenho especialmente na costa ocidental. Os resultados apresentados para a costa sul demonstram que os modelos apresentam uma menor qualidade comparativamente à costa ocidental. Estamos em crer que esta menor performance na zona sul do país, pode ser devida ao facto de ser uma região assolada por ondulações predominantemente de SW e de SE, cujas características de agitação marítima são substancialmente diferentes principalmente no período das ondas.

É importante realçar que o modelo MAR3G obteve, na costa ocidental, uma qualidade bastante satisfatória (maior taxa de POD, HSS próximo do WAM) apesar de não usufruir de idêntica resolução espacial, espectral e da assimilação de dados de satélite que o WAM.

Como perspectivas de trabalho futuro pretende-se efectuar uma verificação objectiva dos resultados dos modelos para um período de tempo mais alargado, dando especial realce às restantes estações do ano, assim como, estender este estudo aos arquipélagos dos Açores e da Madeira.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a colaboração do Instituto Hidrográfico pela cedência dos dados das bóias ondógrafo e ao *European Center for Medium-Range Weather Forecasts* a cedência de dados de Hs do modelo WAM e aos colegas do CIME (IM).

### **Referências**

Doswell, C.A III, R.P.David-Jones, and D.K. Keller, 1990. On the summary measures of skill in rare event forecasting based on contingency tables. *Wea. and Forecasting*, **5**,576-585.

Janssen, P., 2006. Progress in ocean wave forecast at ECMWF. *ECMWF Newsletter N° 106 – Winter 2005/06*, 28-36.

Oliveira Pires, H., 1993. Modelação numérica das ondas geradas pelo vento. *Dissertação para a obtenção do grau de doutor em Engenharia Mecânica*. IST. 222pp.

WMO, 1998. Guide to wave analysis and forecast, *World Meteorological Organization, WMO – N° 702*, 159 pp.

Zomeran, J., A. Delden, 2007. Vertically integrated moisture flux convergence as a predictor of thunderstorms. *Atm. Research*, **83**, 435-445.