

Serviço de previsão para suporte a estabelecimentos de culturas marinhas

S. Bartolomeu (1), J. C. Leitão (1), J. Rodrigues (1), P. C. Leitão (1) e A. Silva (1)

(1) HIDROMOD, R. Rui Teles Palhinha, n° 4, 1°. 2740-278, Porto Salvo.
sofia.bartolomeu@hidromod.com

Resumo: A aquacultura é um sector que tem vindo a aumentar significativamente nos últimos anos em Portugal. Para esta atividade, a temperatura da água representa um papel de elevada importância uma vez que se refletem na produtividade. O modelo hidrodinâmico MOHID e a metodologia de modelos encaixados tem-se revelado uma solução eficiente que permite integrar processos desde a escala dos quilómetros, como é o caso da maré, até processos da escala das centenas de metros, como plumas de estuário e rios. A partir de um modelo, operacional desde 2014 para Portugal Continental, que fornece previsões à superfície e em profundidade, modelos de alta resolução, hidrodinâmicos, tridimensionais podem ser implementados em qualquer local para reproduzir com maior detalhe os processos de alta resolução. A previsão destas condições auxilia o planeamento e gestão da quantidade de alimento necessária aos peixes, otimizando assim os recursos e minimizando os impactos no meio ambiente.

Palavras-chave: Aquacultura, MOHID, Temperatura da água

1. INTRODUÇÃO

A aquacultura apresenta um crescimento acentuado nas últimas décadas a nível global e Portugal seguiu a mesma tendência. Atualmente, a aquacultura apresenta um papel de elevada importância na sociedade moderna sendo um setor de grande interesse nacional em crescimento contínuo, cada vez mais relevante tanto na indústria alimentar como pesqueira. Esta atividade tende a combater a procura excessiva de espécies que resulta nas restrições à sua captura no habitat natural e afirma-se como uma alternativa às formas tradicionais de abastecimento de pescado. A aquacultura pode ser um complemento para diminuir parte da dependência externa referente aos produtos da pesca e ajudar a estabilizar o preço de determinadas espécies (DGPA, 2007).

De acordo com o Plano Estratégico para a Aquicultura Portuguesa (2014-2020) (DGRM, s.d.), apesar da relativa abundância de recursos hídricos em Portugal, especialmente de águas marinhas ou salobras, as taxas de crescimento do sector estão limitadas pelas condições técnicas e/ou naturais de utilização dos recursos existentes, pelos espaços disponíveis de cultivo e pela disponibilidade de financiamentos. Este crescimento é também afetado pelo aumento estimado dos custos, nomeadamente da energia e das rações (rea.apambinente.pt). Todavia, os progressos tecnológicos e a modelação numérica, assim como o avanço do conhecimento científico tendem a melhorar esta prática. Os serviços que fornecem previsões de alta resolução permitem, de forma global, a otimização do processo aliado à redução de custos.

A existência de fenómenos locais leva à necessidade de implementação de modelos de alta resolução que os consigam reproduzir com a máxima precisão possível (e.g. plumas de rios, linha de costa complexa). A temperatura da água é um dos fatores mais importante na aquacultura pois esta propriedade tem influência em todos os processos que ocorrem na água e nos peixes, uma vez que esta condiciona os processos fisiológicos dos peixes (p.ex., metabolismo, crescimento e reprodução). Quando há mudanças acentuadas de temperatura ou temperaturas que ultrapassam os limites da zona de conforto, os peixes tendem a comer menos e a baixa ingestão de alimento prejudica o metabolismo dos peixes, afetando o crescimento e o sistema imunológico (Kubitza, 1998). Consequentemente, estes impactos provocam alterações na quantidade necessária de alimento que se reflete posteriormente na gestão de recursos e custos.

Nesta publicação descreve-se uma metodologia de previsão de temperatura superficial do mar com base em modelos numéricos, deteção remota e medições de temperatura na boia ondógrafo de Sines.

2. METODOLOGIA

Para este estudo foram recolhidos dados de temperatura medidos pela boia ondógrafo de Sines, soluções do Copernicus - Marine Environment Monitoring Service - CMEMS (previsões: global, Iberian Biscay Irish - IBI e observações: OSTIA - L4) e previsões produzidas na HIDROMOD seguindo uma metodologia de modelos encaixados para a zona de Sines já utilizada e validada em estudos anteriores (Martins *et al.*, 2011; Leitão *et al.*, 2005 e Malhadas *et al.*, 2009).

A análise compreende o período de 1 de janeiro de 2016 a 8 de maio de 2018 (858 dias). Para o mesmo período de análise, foram ainda recolhidos dados de altura significativa da boia ondógrafo de Sines e vento meridional proveniente de um produto do CMEMS baseado em dados de satélite.

2.1. Dados em tempo real

Os dados disponíveis em tempo real para a boia ondógrafo de Sines são mantidos pelo Instituto Hidrográfico. Desta fonte, foram utilizados os dados de temperatura da água e de altura significativa.

2.2. Dados de satélite OSTIA (CMEMS - L4)

O sistema operacional de temperatura da superfície do mar e gelo (OSTIA) é executado pelo Met Office e produz uma análise diária de alta resolução (~5 km) da temperatura da superfície do mar para a superfície global do oceano. A reanálise do OSTIA fornece mapas diários sem falhas utilizando os dados *in situ* e os dados de satélite de radiômetros infravermelhos.

2.3. Dados de vento (CMEMS-L4)

Para a superfície global do oceano, o IFREMER disponibiliza médias de seis horas de intensidade e direção do vento estimados a partir de dados recuperados dos *scatterometers* ASCAT e OSCAT e ventos de análises operacionais do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), com uma resolução horizontal de 0.25°.

2.4. CMEMS global

O sistema de previsão global do CMEMS fornece diariamente previsões 3D com um horizonte temporal de dez dias e com uma resolução de 1/12°. Esta solução inclui médias mensais e diárias de temperatura, salinidade, correntes, nível do mar, profundidade da camada de mistura e propriedades de gelo para 50 níveis. Inclui ainda médias horárias à superfície de nível do mar, temperatura (utilizados no trabalho aqui descrito) e correntes.

2.5. CMEMS IBI

O sistema de previsão IBI é executado diariamente pelos Puertos del Estado e fornece previsões de correntes, temperatura, salinidade e nível do mar, para os próximos cinco dias, incluindo processos de alta frequência importantes para caracterizar os processos marinhos de escala regional (como é o caso da maré, fortes variações meteorológicas, descargas de rios, entre outros). Esta solução abrange desde o norte da Islândia até às ilhas das Canárias, com uma resolução de 0.028° (Sotillo *et al.*, 2017).

2.6. PCOMS 3D

O PCOMS 3D é um modelo tridimensional que, utiliza o modelo numérico MOHID e simula a circulação geral da Costa Portuguesa, é corrido em modo de previsão pelo IST (Mateus *et al.*, 2012) e pela HIDROMOD. Tem uma malha de resolução horizontal de cerca de 6 km e fornece previsões para os próximos 5.5 dias, atualizadas diariamente. A

condição de fronteira aberta é definida com base numa solução que resulta da soma linear da solução global de maré FES2012 (Carrère *et al.*, 2012) e a solução da baixa frequência CMEMS Global.

2.7. MOHID – previsões de alta resolução

Quanto ao modelo de alta resolução implementado para a região de estudo, é composto por 3 níveis (MOHID 1.2 km, MOHID 250 m e 50 m) forçados na fronteira aberta por resultados a cada 900s da solução PCOMS. É um modelo 3D baroclínico, forçado à superfície por previsões do GFS, e na fronteira aberta terrestre impõem-se a descarga da pluma Térmica da EDP (40 m³/s e 10°C acima do meio recetor).

2.8. Análise estatística das previsões de temperatura

Ao nível da qualidade das previsões de temperatura é importante garantir que os modelos consigam reproduzir a variabilidade observada na boia ondógrafo e nas observações de satélite. A avaliação da qualidade das previsões é feita com base no cálculo dos indicadores estatísticos:

- Erro médio (BIAS);
- Raiz do erro médio quadrático (RMSE);
- Raiz do erro médio quadrático sem BIAS (Unbias RMSE);
- Coeficiente de correlação (R);
- *Skill Score* (SKILL).

3. RESULTADOS

A temperatura da água registada na boia ondógrafo de Sines foi comparada com cada uma das soluções acima descritas. A análise compreende o período entre 1 de janeiro de 2016 e 8 de maio de 2018. A boia ondógrafo de Sines apresenta algumas falhas, destacando-se dois períodos com falhas superiores a dois dias: 05-13 de fevereiro de 2017 e 09 de agosto a 3 de setembro de 2017. A avaliação estatística para cada uma das soluções é mostrada na Tabela I.

Tabela I. Indicadores estatísticos para a temperatura da água para as soluções CMEMS Global, CMEMS IBI, PCOMS 3D, MOHID 250 m e MOHID 50 m: BIAS (°C), RMSE (°C), Unbias RMSE (°C), R e SKILL.

	CMEMS IBI	CMEMS Global	PCOMS 3D	MOHID 250 m	MOHID 50 m
BIAS (°C)	0.75	0.28	0.23	0.15	0.12
RMSE (°C)	1.10	0.76	0.93	0.86	0.99
Unbias RMSE (°C)	0.80	0.71	0.90	0.84	0.98
R	0.93	0.92	0.91	0.91	0.87
SKILL	0.92	0.95	0.94	0.95	0.92

A partir dos resultados obtidos para uma validação de aproximadamente dois anos e meio, verifica-se que: (1) a solução do CMEMS IBI em termos médios apresenta um valor médio superior comparativamente com as restantes soluções (BIAS de 0.75 °C); (2) a solução CMEMS Global apresenta o menor RMSE (0.76 °C) seguindo-se as soluções MOHID de alta resolução; (3) quando o RMSE é

calculado assumido o mesmo valor médio para todas as previsões (Unbias RMSE), as soluções do CMEMS Global e IBI revelam melhores resultados, seguindo-se o modelo MOHID 250 m, MOHID 50 m e por fim PCOMS 3D; (4) as melhores correlações verificam-se na solução CMEMS IBI e os melhores valores de SKILL correspondem aos CMEMS Global e MOHID 250 m (0.95).

Quando os dados da boia são comparados com os dados de satélite L4 (OSTIA), valores diários, verifica-se que as diferenças registadas são da ordem de grandeza das soluções produzidas com os modelos numéricos.

Tabela II. Indicadores estatísticos para a temperatura da água para a solução dos dados de satélite do OSTIA: BIAS (°C), RMSE (°C), Unbias RMSE (°C), R e SKILL.

	Dados Satélite OSTIA (CMEMS-L4)
BIAS (°C)	0.23
RMSE (°C)	0.64
Unbias RMSE (°C)	0.59
R	0.95
SKILL	0.97

A comparação dos dados de satélite com as medidas da boia mostra um BIAS de 0.23 °C, RMSE de 0.64 °C e uma correlação de 0.95. De acordo com os resultados obtidos, não existe uma solução numérica que seja a melhor em todos os indicadores. E, a análise detalhada das séries temporais confirma este facto. Para cada intervalo, existe uma solução que se ajusta mais às medidas, contudo, no dia seguinte a melhor solução pode ser outra. No sentido de identificar qual seria precisão máxima resultante de uma previsão que combine as cinco soluções numéricas já referidas, realizou-se uma análise das diferenças entre medidas e cada uma das soluções, utilizando as séries com uma frequência horária (a frequência dos modelos). Desta análise foi criada a série temporal que reúne, para cada instante horário, a menor diferença entre medida e previsão – BEST 1 (Fig. 1, série representada a verde). Esta série temporal é a melhor previsão possível, recorrendo a todas as soluções apresentadas. Foi ainda criada uma segunda série temporal (horária) mas que utiliza a melhor solução que apresenta a menor diferença diária – BEST 2. A análise estatística para estas séries é apresentada na Tabela III.

Em termos percentuais, 30% da série BEST 1 é composta pela solução com CMEMS Global, 21% pelo MOHID 50 m, 18% pelo PCOMS 3D e MOHID 250 m e por fim, 13% pelo CMEMS IBI. Quando se utilizam as diferenças diárias (BEST 2), a percentagem da solução CMEMS Global e PCOMS 3D aumentam e as restantes soluções diminuem. Na análise estatística, as novas soluções apresentam resultados significativamente melhores, comparado com qualquer uma das soluções anteriores. E, como seria de esperar, a série BEST 1 é ligeiramente melhor que a BEST 2.

Por fim, foi ainda criada outra série temporal que resulta da média de todas as cinco soluções para cada instante horário – MédiaTT (Tabela IV). A análise estatística desta série composta mostra que a solução melhora em todos os indicadores (com a exceção do BIAS) quando se utiliza a média de todas as soluções comparativamente aos indicadores obtidos anteriormente na Tabela I.

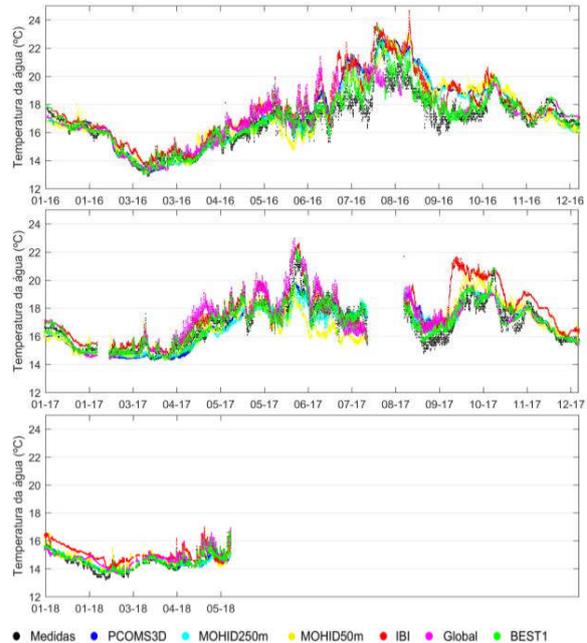


Fig. 1. Temperatura da água medida na boia ondógrafo de Sines (preto), previstas pelo MOHID PCOMS 3D (azul), MOHID 250 m (ciano), MOHID 50 m (amarelo), previstas pelo CMEMS - IBI (vermelho), CMEMS – Global (magenta) e a BEST1 (verde).

Tabela III. Percentagem de cada soluções na composição da melhor série temporal utilizando diferenças horárias e diferenças diárias.

	BEST 1 (%)	BEST 2 (%)
CMEMS IBI	13.3	11.8
CMEMS Global	30.1	33.9
MOHID PCOMS3D	18.3	20.2
MOHID 250 m	17.5	17.1
MOHID 50 m	20.8	17.0

Tabela IV. Indicadores estatísticos para a temperatura da água para as séries BEST 1, BEST 2 e MédiaTT: BIAS (°C), RMSE (°C), Unbias RMSE (°C), R e SKILL.

	BEST 1	BEST 2	MédiaTT
BIAS (°C)	0.11	0.10	0.30
RMSE (°C)	0.39	0.45	0.75
Unbias RMSE (°C)	0.37	0.44	0.69
R	0.98	0.97	0.94
SKILL	0.99	0.98	0.96

3.1. Proposta de uma previsão em modo operacional

Como primeiro passo foi avaliado se a precisão da solução compósita BEST 2 é uniforme ao longo do tempo ou se a sua variabilidade está de alguma forma correlacionada com a velocidade do vento meridional ou a altura significativa das ondas. Este tipo de análise permite perceber em que condições

meteo-oceanográficas o sistema de previsão tende a ter melhor precisão.

A Fig. 2 compara a média diária do erro da temperatura da série BEST 2 (linha a vermelho) com a média diária da altura significativa na boia ondógrafo de Sines (linha a azul). Nesta comparação verifica-se que os valores mais elevados do erro da temperatura ocorrem em períodos de menor altura significativa e quando o vento é predominantemente de norte (Fig. 3).

As séries temporais compósitas (BEST 1, BEST 2 e MédiaTT) revelaram resultados que nenhuma solução obteve por si só. Os próximos passos do trabalho aqui apresentado consistirá em avaliar se é possível “prever” com algum tempo de antecedência (e.g. 1 dia) qual a solução numérica (ou compósita) que melhor se ajusta às observações.

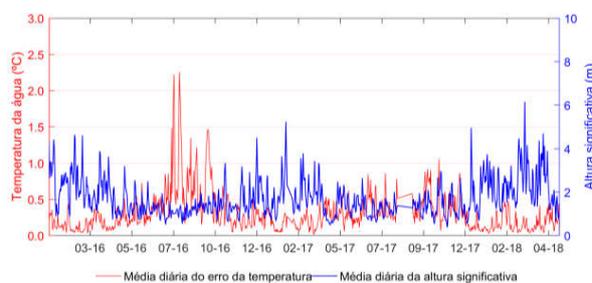


Fig. 2. Média diária do erro da temperatura da água da série BEST 2 (linha a vermelho) e média diária da altura significativa (linha a azul).

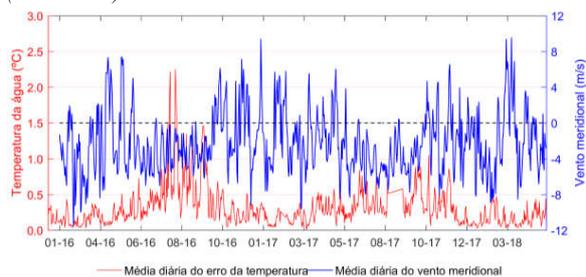


Fig. 3. Média diária do erro da temperatura da água da série BEST 2 (linha a vermelho) e média diária do vento meridional (linha a azul).

4. CONCLUSÕES

As condições hidrodinâmicas, mas essencialmente, a temperatura da água, têm uma grande influência nas explorações aquícolas. A previsão da temperatura ao nível diário permite reduzir significativamente os custos de produção. A título exemplificativo, avaliou-se a capacidade das soluções numéricas operacionais CMEMS (solução Global e IBI) e MOHID (PCOMS3D, MOHID 250 m e MOHID 50 m) em prever a temperatura da água superficial em Sines utilizando dados registados na boia ondógrafo de Sines entre janeiro de 2016 e maio de 2018. Os resultados mostram que não existe uma solução numérica claramente mais precisa que as outras. A previsão que resulta de fazer uma média das cinco previsões numéricas analisadas (MédiaTT) revela ser mais precisa em termos médios que cada solução

em separado. Todavia, as soluções BEST 1 e BEST2, que identificam a melhor das cinco previsões disponíveis ao nível horário e diário respetivamente, mostram que ainda existe margem para melhorar a previsão compósita que resulte de uma combinação das previsões de base.

Agradecimentos

Foram utilizados os dados do Instituto Hidrográfico publicados para a boia ondógrafo de Sines.

REFERÊNCIAS

- Carrère L., F. Lyard, M. Cancet, A. Guillot, L. Roblou, FES2012 (2012): A new global tidal model taking taking advantage of nearly 20 years of altimetry, *Proceedings of meeting "20 Years of Altimetry"*, Venice 2012.
- DGRM, s.d. Plano estratégico para a Aquicultura Nacional (2014-2020). http://eaquicultura.pt/wp-content/uploads/2016/02/Plano_Estrat%C3%A9gico_Aquicultura_2014_2020.pdf
- DGPA, D.-G. d. (2007). Plano Estratégico Nacional Para A Pesca 2007-2013. Lisboa: DGPA.
- Kubitza, Fernando (1998). Qualidade da água na produção de peixes – Parte I. *Panorama da aquicultura*. Vol 8 n 45, janeiro/fevereiro 1998.
- Leitão P., Leitão J., Neves R., Berzin G., Silva A. (2004). Hydrodynamics And Transport In The Coastal Zone Of São Paulo – Brazil. *Proceedings 29th International Conference of Coastal Engineering* 3: 3316-3328.
- Malhadas Malhadas, M.S., Leitão, P.C., Silva, A., Neves, R. (2009). Effect of coastal waves on sea level in Óbidos Lagoon. *Continental Shelf Research* 29 (9), pp. 1240-1250
- Martins, F., Leitão, P.C., Silva, A., Neves, R. (2001). 3D modelling in the Sado estuary using a new generic vertical discretization approach. *Oceanologica Acta*, 24 (1), pp. 551-562.
- Mateus, M., Riflet, G., Chambel, P., Fernandes, L., Fernandes, R., Juliano, M., Campuzano, F., d e Pablo, H., Neves, R. (2012). An operational model for the West Iberian coast: products and services. *Ocean Sci.* 8 (4), 713–732.
- Sotillo M. G., Levier B. and Lorente P. (2017). Atlantic -Iberian Biscay Irish- IBI Production Centre
IBI_ANALYSIS_FORECAST_PHYS_005_001_b.
Quality Information Document. Marine Copernicus.
<http://marine.copernicus.eu/documents/QUID/CMEMS-GLO-QUID-001-024.pdf>