

SISTEMA DE OBSERVAÇÃO OPERACIONAL DE PORTUGAL

Madalena S. MALHADAS¹; Sofia BARTOLOMEU²; Adélio SILVA³; Eduardo AIRES⁴; João RIBEIRO⁵

RESUMO

O Sistema de Observação Oceânico Costeiro (SOOC) da região de Portugal, desenvolvido pela HIDROMOD através da plataforma AQUASAFE (<http://www.aquasafeonline.net/>), tem como objetivo tornar mais eficiente a gestão e a utilização da informação meteo-oceanográfica adquirida em tempo real, a sua integração com ferramentas de previsão e diagnóstico para a escala local (e.g., atividades portuárias).

O SOOC da região de Portugal tem três componentes principais, a aquisição de dados (satélite, redes *in-situ* e previsão de modelos numéricos), a verificação qualitativa e por fim a disseminação dos resultados. A integração de todas estas componentes permite uma melhor eficiência nos serviços de gestão ambiental costeira nomeadamente: emergências, meio marinho, atmosfera, atividades portuárias, segurança e alterações climáticas.

Este artigo aborda a análise comparativa entre as medições meteo-oceanográficas adquiridas em tempo real na Costa Continental Portuguesa, obtidos por estações meteorológicas, marégrafos, boias, dados de deteção remota e resultados de modelos numéricos (WWIII, SWAN, MOHID, GFS, WRF). Esta análise tem como principal objetivo a avaliação do desempenho destes modelos, pretendendo-se ter uma maior confiança na caracterização das condições meteo-oceanográficas em zonas costeiras, em escalas temporais longas e em espaciais de alta resolução, necessárias numa perspetiva de gestão costeira operacional.

O SOOC de Portugal reproduz a variabilidade dos dados adquiridos através dos equipamentos de medição em tempo real, podendo ser utilizado como ferramenta de previsão meteo-oceanográfica da região de Portugal e fornecer condições de escala regional para outros sistemas de previsão.

Palavras-Chave: AQUASAFE; Gestão; Modelação Operacional; Costa Portuguesa; AMOS.

¹ MSc. Engenharia Ambiente; Hidromod Rua Rui Teles Palhinha Nº4 Piso 1; 2740-278 Porto Salvo; madalena@hidromod.com e +351 218 486 013.

² Oceanógrafa; Hidromod Rua Rui Teles Palhinha Nº4 Piso 1; 2740-278 Porto Salvo; sofia.bartolomeu@hidromod.com e +351 218 486 013.

³ PhD. Engenharia Civil; Hidromod Rua Rui Teles Palhinha Nº4 Piso 1; 2740-278 Porto Salvo; adelio@hidromod.com e +351 218 486 013.

⁴ Engenheiro Informático; Rua Rui Teles Palhinha Nº4 Piso 1; 2740-278 Porto Salvo; adelio@hidromod.com e +351 218 486 013.

⁵ Oceanógrafo; Hidromod; Rua Rui Teles Palhinha Nº4 Piso 1; 2740-278 Porto Salvo; joao.ribeiro@hidromod.com e +351 218 486 013.

1. INTRODUÇÃO

A gestão das zonas portuárias e costeiras é um assunto premente em Portugal, dada a severidade do clima de agitação marítima, a extensão da sua costa, a concentração das atividades económicas na zona costeira e a importância dos portos para a economia nacional (Neves *et al.*, 2012). Com efeito, situações de emergência provocadas pelo estado do mar são frequentes, tornando clara a necessidade de prever eventos de risco em zonas costeiras e de emitir atempadamente alertas, minimizando os prejuízos económicos e ambientais.

O Sistema de Observação Oceânico Costeiro (SOOC) da região de Portugal, desenvolvido pela HIDROMOD através da plataforma AQUASAFE (<http://www.aquasafeonline.net/>) e inserido no âmbito do projeto AMOS (Advanced Meteo-Oceanographic Forecasting Services For Sea), tem como objetivo disponibilizar um serviço de alertas marítimos em escalas compatíveis com os usos das atividades costeiras. O serviço de alertas pode beneficiar a navegação, a pesca e as atividades recreativas costeiras. Este tipo de sistema também pode ser útil para apoiar outras atividades, nomeadamente disponibilizar condições meteo-oceanográficas adequadas para simular derrames de petróleo. O sistema tem a facilidade de comunicar com outros serviços operacionais e fornecer previsões detalhadas para áreas mais localizadas, nomeadamente os portos. Atualmente existem sistemas de previsão operacional disponíveis para a Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A (AQUASAFE APDL), Administração dos Portos de Setúbal e Sesimbra, S.A. (AQUASAFE APSS), Estuário do Tejo (AQUASAFE SIMTEJO) e Sines (AQUASAFE EDP). Todos estes sistemas de previsão operacional, quer da escala local quer da escala regional são mantidos pela HIDROMOD.

A filosofia por detrás de um SOOC integra três componentes que se resumem na Figura 1: 1) servidor, 2) análise e verificação e 3) disseminação. A componente do servidor é responsável por toda a gestão de dados (e.g., satélite, redes *in situ*, modelos externos) e execução das simulações em modelo. Todos os dados que são adquiridos através de *download* são considerados como fontes externas e toda a informação gerada com recurso a modelos implementados dentro da plataforma AQUASAFE como fontes internas. Toda a informação que é gerada no âmbito deste processo tem subjacente uma política de privacidade e obedece a *standards* de formatos e de metainformação garantindo que todos os dados são catalogados mediante determinados pré-requisitos, nomeadamente, tipo de dado, provedor do dado, restrições de uso, local de medição, profundidade de medição, parâmetro medido, entre outros. A segunda componente tem como objetivo garantir que toda a cadeia de processos necessária para produzir as previsões é executada de forma efetiva. Esta cadeia de processos é complexa, envolvendo a transferência de grandes volumes de dados em diferentes formatos e resoluções, o tratamento dos dados de forma a verificar a respetiva integridade e traduzi-los para formatos *standard* e a execução de diferentes modelos com dependências entre si. Por fim, a terceira e última componente, consiste na divulgação da informação para os utilizadores finais. A disseminação pode ser feita diferentes tipos de clientes informáticos (desktop, web, móvel) e através de relatórios automáticos disseminados para uma lista predefinida de *emails* que podem ser enviados regularmente ou, no caso de alertas, obedecer à ocorrência de um evento.

Estes sistemas permitem a integração de diversas componentes e a gestão de diferentes tipos de dados oceanográficos proporcionam uma melhor eficiência nos serviços de gestão

ambiental costeira. Adicionalmente também fornecem um serviço mais abrangente e mais robusto a menor custo, quer em termos de esforço de recursos humanos e de gestão da informação de dados.

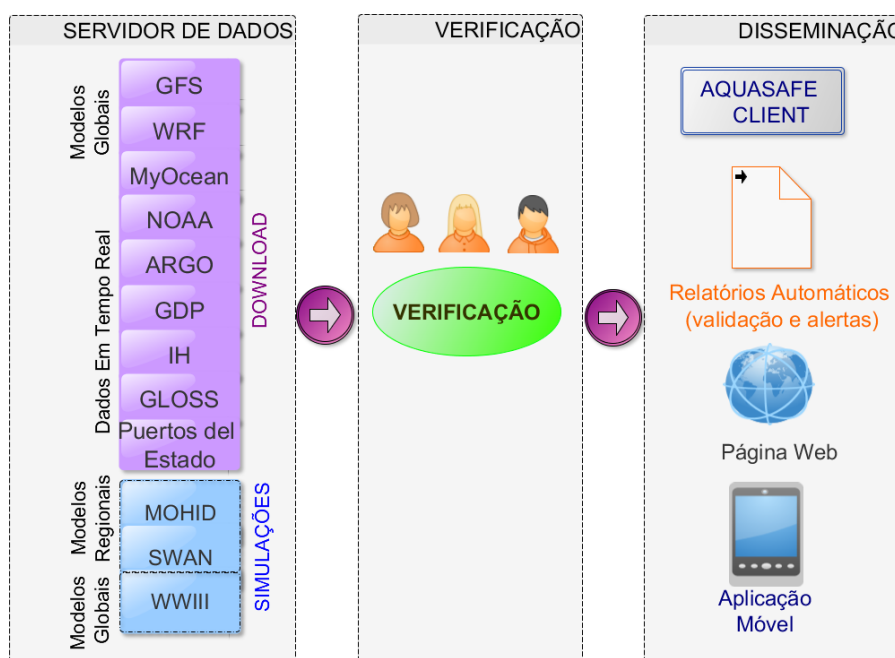


Figura 1. Diagrama de fluxo de informação sequencial (DFIS) arquitetado no SOOC de Portugal.

2. OBJETIVOS

Neste artigo descreve-se o SOOC aplicado a Portugal Continental destacando-se as fontes de dados disponíveis (redes *in situ*, dados de satélite, previsões globais e regionais). O grau de confiança das previsões e os principais resultados obtidos são também apresentados nesta comunicação.

3. METODOLOGIA

3.1 Dados em tempo real

Os dados disponíveis em tempo real no SOOC de Portugal incluem marégrafos, boias e estações meteorológicas (Figura 2). Os marégrafos (círculos rosa) disponibilizam o nível do mar sendo mantidos pelo Instituto Hidrográfico (IH) e pelo *Global Sea Level Observing System* (GLOSS). As boias costeiras (círculos verde) e oceanográficas (círculos laranja) sob o domínio português são mantidas pelo IH e as de domínio espanhol pelos *Puertos del Estado* (PdE). Os parâmetros disponíveis incluem três classes (atmosféricos, ondulação e hidrodinâmicos, Tabela 1), podendo incluir dados à superfície ou em diversas profundidades. As estações meteorológicas costeiras disponíveis incluem os locais de Leixões e Sines (manga de vento vermelha). Os seus provedores são respetivamente, a APDL e a Administração do Porto de Sines, S.A. (APS) e os parâmetros adquiridos são os listados na Tabela 1. Outras estações disponíveis na região de Portugal estão em fase de configuração (e.g., Lisboa, Faro, Sines, Aveiro, Figueira da Foz, Nazaré, Porto).

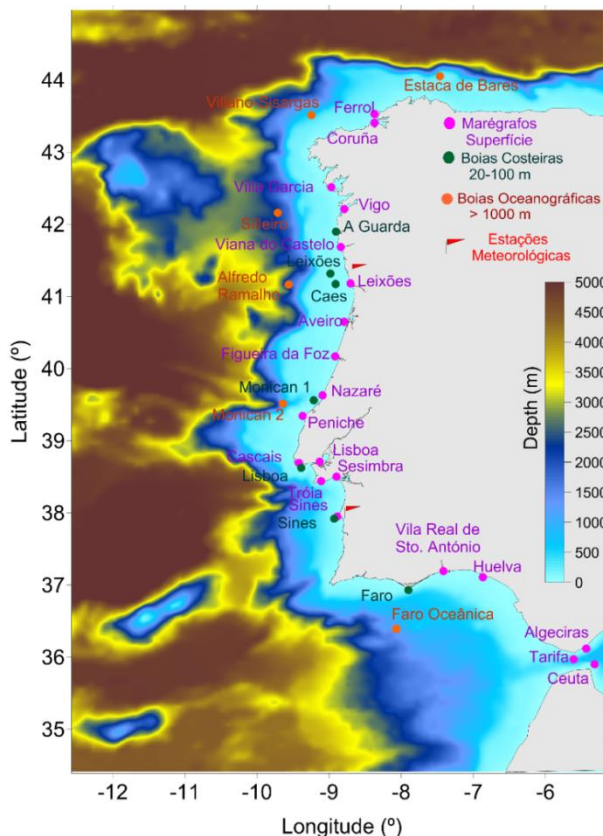


Figura 2. Localização dos marégrafos, boias costeiras, boias oceanográficas e estações meteorológicas disponíveis no SOOC de Portugal.

Tabela 1. Lista de parâmetros atmosféricos, ondulação e hidrodinâmicos adquiridos nas boias costeiras e oceanográficas e disponibilizados no SOOC de Portugal.

Tipo de Parâmetros	Variáveis
Atmosféricos	Temperatura do ar (°C), Velocidade do vento (ms ⁻¹), Direção do vento (°) Rajada de vento (ms ⁻¹), Humidade relativa (%), pressão atmosférica (mbar), precipitação
Ondulação	Altura significativa da ondulação (m), Altura máxima (m), Período médio (s), Período de pico (s), Período máximo (s), Direção média da ondulação (°)
Hidrodinâmicos	Velocidade da corrente (ms ⁻¹), Direção da corrente (°), Salinidade, Temperatura da água (°C)

3.2 Satélite

Os produtos de satélite disponíveis correspondem às seguintes soluções: 1) *Global Ocean OSTIA L4 sensor*, 2) *European Ocean-Sea L4 multi-sensor* e 3) *Global Ocean the IFREMER CERSAT Global Blended Mean Wind Fields*. O primeiro está disponível para todo o globo com uma resolução espacial de cerca de 25 km e corresponde à média diurna da temperatura da água à superfície. O segundo abrange a Europa com uma resolução espacial de cerca de 2 km e corresponde à média de três em três horas da temperatura da água à superfície. O terceiro e último produto está disponível para todo o globo com uma resolução espacial de cerca de 25 km e temporal de 6 em 6 h (00h:00, 06h:00, 12h:00, 18h:00). Os parâmetros disponíveis incluem as componentes do vento (meridional e zonal) e

o módulo. Todos estes produtos globais são visualizados na plataforma operacional através de mapas na região de Portugal e o provedor é o MyOcean.

3.3 Boias da rede GDP e Argos

Os dados de boias abrangem os adquiridos através da rede GDP (*Global Drifter Program*) e da rede Argos. A rede de boias do GDP inclui medições superficiais de pressão atmosférica, ventos, correntes, temperatura da água e salinidade obtidas através de boias derivantes em todo o globo. O produto final que se encontra acessível via SOOC, corresponde à solução integrada de campos superficiais das propriedades mensuráveis para a região de Portugal. As boias da rede Argos disponibilizam perfis verticais de temperatura e de salinidade em todo o globo. As soluções disponíveis através do sistema operacional abrangem as boias que foram detetadas à sua passagem na Costa Portuguesa.

3.4 Modelos globais e regionais externos

As previsões dos modelos externos disponíveis correspondem a soluções oceanográficas e meteorológicas disponibilizadas pelos seguintes serviços: MyOcean, NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) e Meteogaliza.

As previsões oceanográficas estão disponíveis através do MyOcean e são geradas pelo sistema de modelação MyOcean (*Operational Mercator global Ocean analysis and forecast system*) para todo o globo com um 1/12 graus (~8 km) de resolução. Esta solução é tridimensional e corresponde a médias diárias para um período de 7 dias. Os parâmetros disponíveis para esta solução correspondem à temperatura da água, salinidade, correntes e nível do mar.

As previsões meteorológicas globais são disponibilizadas pela NOAA e geradas com o modelo GFS (*Global Forecast System*). A solução do GFS está disponível para todo o globo com uma resolução espacial de 50 km e 25 km; e com um horizonte de previsão a 10 dias. Para a escala regional, nomeadamente Península Ibérica estão disponíveis duas soluções atmosféricas do modelo WRF (*Weather Research and Forecasting*) cujo provedor é a Meteogaliza. As soluções apresentam uma resolução espacial de 12 km e 36 km e um horizonte de previsão de cerca de 4 dias. Os parâmetros atmosféricos disponíveis são os da Tabela 1. Estes parâmetros podem estar visíveis na plataforma na forma de mapas e de séries temporais nos locais onde existem medidas (boias e estações meteorológicas, Figura 2).

3.5 Modelos regionais internos

3.5.1 Modelos hidrodinâmicos

A metodologia de modelação aplicada à região de Portugal consiste numa filosofia de modelos encaixados. Esta filosofia já foi utilizada em trabalhos anteriores (Martins *et al.*, 2011; Leitão *et al.*, 2005 e Malhadas *et al.*, 2009) revelando-se uma solução eficiente para resolver problemas de escala e permite integrar processos desde a escala dos quilómetros, como é o caso da maré, com processos da escala das centenas de metros, como é o caso das correntes oceânicas. A comunicação entre modelos é feita *one-way*, ou seja, os modelos de maior escala influenciam os modelos de menor escala, mas o contrário não ocorre.

As características hidrodinâmicas na região de Portugal são simuladas com o modelo MOHID aplicado em diversos estudos (Leitão *et al.*, 2004; Tironi *et al.*, 2010; Navas *et al.*,

2011; Ribeiro *et al.*, 2011; Santoro *et al.*, 2011). O sistema implementado inclui um modelo “pai” correspondente ao modelo de nível 1 que recebe condições de fronteira do MyOcean (Península Ibérica com 6 km de resolução horizontal (Figura 3) e que fornece condições de fronteira a modelos encaixados de maior resolução. Estes modelos encaixados assumem duas configurações: uma bidimensional (MOHID PT 2D) e outra tridimensional (MOHID PT 3D). A configuração bidimensional assume que o fluxo é barotrópico (a coluna de água corresponde a uma única camada) e a tridimensional que o fluxo é baroclínico (tem em conta o efeito dos gradientes de densidade na coluna de água vertical).

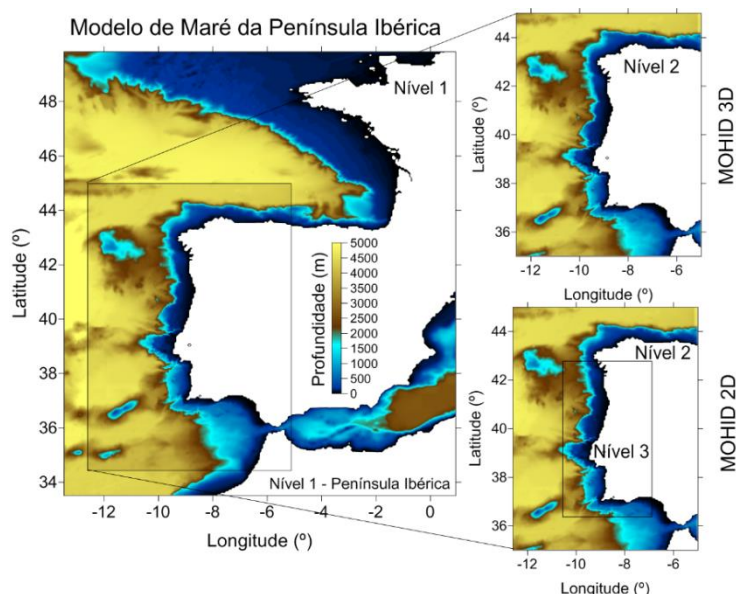


Figura 3. Domínios de modelos encaixados utilizados na implementação do MOHID 2D e MOHID 3D para a região de Portugal.

Ambas as configurações (MOHID PT 2D e MOHID PT 3D) incluem o efeito da maré através da utilização do modelo global de maré FES 2012 (Carrère *et al.*, 2012).

As previsões do modelo global GFS (25 km, Figura 6) são utilizadas como condição de fronteira à superfície (interface água-atmosfera) no MOHID PT 2D (nível 2 nível 3) e MOHID PT 3D (nível 2). Se esta previsão não estiver disponível, o sistema utiliza como segunda fonte redundante os primeiros 4 dias do modelo WRF 36 km e os últimos 3 dias do GFS 50 km. A última fonte a ser utilizada corresponde à solução do GFS de 50 km (Figura 6).

O MOHID PT 3D para além do forçamento da maré do modelo de maré, assume também o forçamento 3D de baixa frequência do modelo MyOcean (Figura 6). Neste modelo considera-se ainda o efeito dos gradientes de pressão atmosférica. Por uma questão de continuidade, a aproximação do barómetro invertido é assumido na fronteira aberta.

3.5.2 Modelos de ondas

Os modelos de ondas WaveWatchIII (WWIII) e SWAN são corridos utilizando uma cadeia de modelos encaixados (Ribeiro *et al.*, 2009) que permite refinar de forma bastante detalhada a ondulação.

A implementação feita com o modelo WWIII (Tolman, 1991) começa a uma escala global com 1° de resolução. Esta implementação Global que fornece condições de fronteira para

um modelo do Atlântico Norte com 0.25° de resolução e termina com um modelo regional de Portugal Continental de resolução de 0.05° (Figura 4). A informação batimétrica de base é da NOAA do modelo de terreno ETOPO 1 (Amante *et al.*, 2009) e o forçamento atmosférico é feito com recurso às previsões meteorológicas do GFS de 25 km para um vento a 10 metros, e usando como fonte redundante a solução de 50 km (Tabela 2).

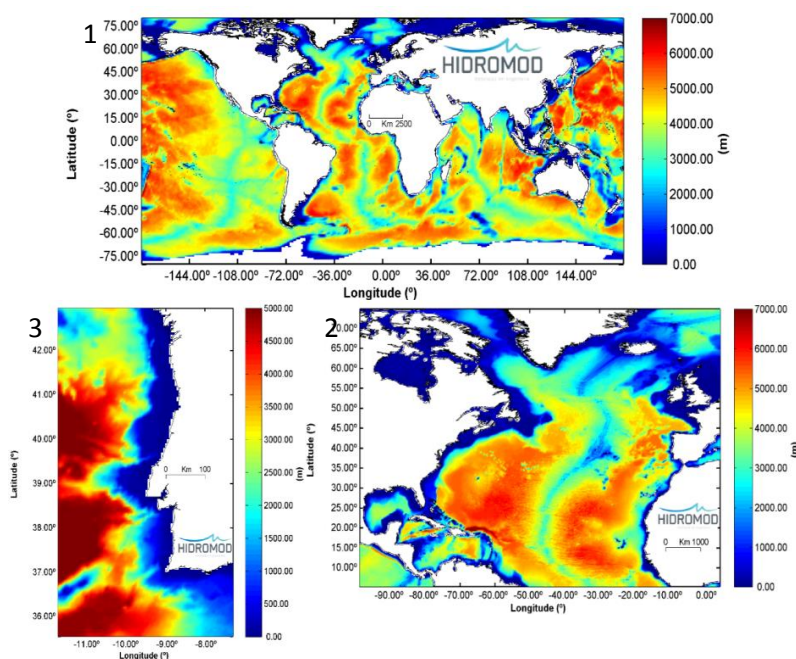


Figura 4. Domínios de modelos encaixados utilizados na implementação do WWIII para a região de Portugal.

Tabela 2. Características dos modelos implementados com o WWIII.

Nível	1	2	3
Domínio	Global	NÃO	PT
Resolução Espacial ($^\circ$)	1° (110 km)	0.25° (25 km)	0.05° (5 km)
Parâmetros simulados	Hs (m), Direção média ($^\circ$), Tm (s), Tp (s)	Hs (m), Direção média ($^\circ$), Tm (s), Tp (s)	Hs (m), Direção média ($^\circ$), Tm (s), Tp (s)
Condições de Fronteira	Oceano Atlântico Norte (NAO)	Portugal Continental (PT)	Portugal Continental (modelo regional de alta resolução)
Forçamento Atmosférico	GFS 25 km (10 metros) e GFS 50 km (10 metros)		

O domínio regional de alta resolução para Portugal Continental, implementado com recurso ao modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999), recebe condições de fronteira do modelo WWIII regional e tem por finalidade produzir informação para utilização operacional e fornecer condições de fronteira para os modelos de muita alta resolução. Em termos espaciais cobre Portugal Continental com uma resolução de 1 km (Figura 5, Tabela 3), utiliza forçamento atmosférico de ventos a 10 metros do modelo WRF de 12 Km da Meteogaliza (com

redundância para as soluções WRF 36 km e GFS de 25 km e 50 km) e níveis fornecidos pelo MOHID PT 2D.

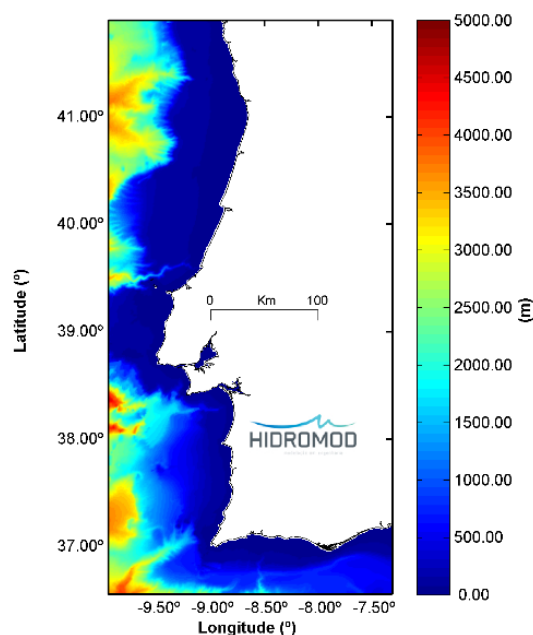


Figura 5. Domínio regional de alta resolução utilizado na implementação do SWAN para a região de Portugal.

Tabela 3. Características dos modelos implementados com o SWAN.

Nível	4
Domínio	PT
Resolução Espacial (°)	0.01 (1 km)
Dados Batimétricos	Cartas Náuticas, Levantamentos Acústicos
Parâmetros simulados	Hs (m), Direção média (°), Tm (s), Tp (s)
Condições de Fronteira	Modelo locais de muita alta resolução
Forçamento Atmosférico	WRF 12 km, GFS 25 km e GFS 50 km (a 10 metros)

3.6 Diagrama de fluxo de dados (DFD)

O diagrama de fluxo de dados (DFD) do SOOC da região de Portugal apresenta-se na Figura 6. As soluções regionais disponíveis no SOOP incluem: MOHID PT 2D – 6 km, MOHID PT 2D – 1 km, e MOHID PT 3D – 6 km, WWIII PT - 5 km, e SWAN PT - 1 km. As previsões de escala global/regional dos provedores externos incluem: GFS 50 km, GFS 25 km, WRF 36 km e MyOcean 8 km. Os dados que integram a validação automática incluem os anteriormente referidos e disponibilizados pelo IH, PdE, GDP, Argo, GLOSS e satélite (MyOcean).

Os modelos externos são utilizados para forçar os modelos regionais e os dados oceanográficos para validação automática dos mesmos. Toda esta estrutura de modelação

e validação é feita através de agendamento automático no SOOC de Portugal sendo toda estrutura mantida e verificada pela HIDROMOD.

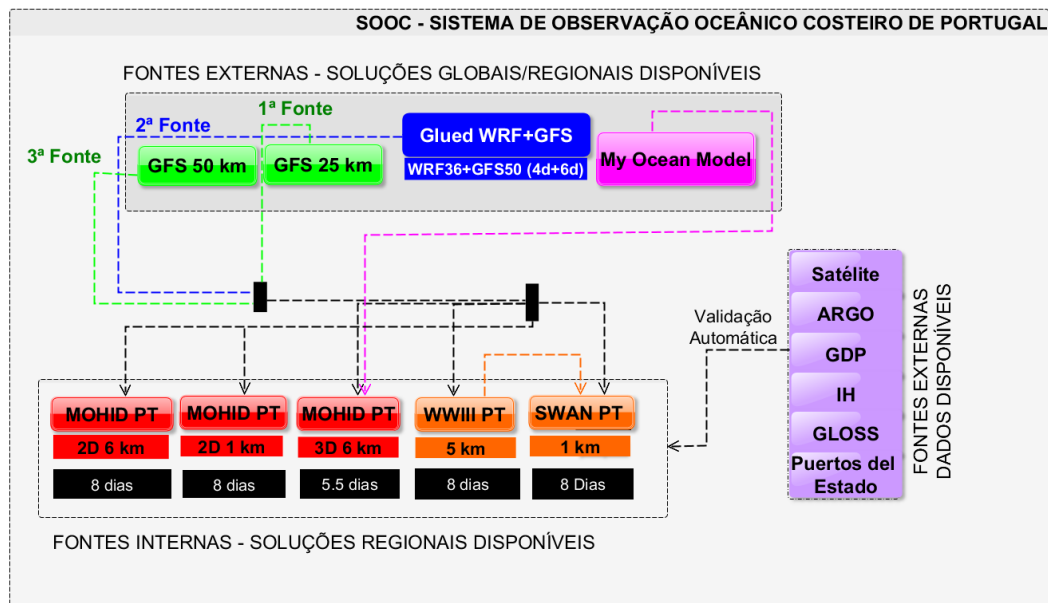


Figura 6. Diagrama de fluxo de dados no sistema de observação operacional da Costa Portuguesa.

4. RESULTADOS

A validação ou quantificação das previsões dos modelos regionais de Portugal é feita com base na comparação de i) estações meteorológicas automáticas (Figura 2) ii) níveis nos marégrafos disponíveis para a parte Oeste da Península Ibérica (Figura 2), iii) perfis verticais de salinidade e temperatura da rede Argo, iv) temperatura à superfície nas boias disponíveis para a parte Oeste da Península Ibérica (Figura 2), v) campos superficiais de temperatura obtidos com o satélite para a região de Portugal e vi) dados de ondulação nas boias. Os indicadores estatísticos utilizados para quantificar a validação do modelo foram o coeficiente de correlação (R) e o erro quadrático médio (RMSE).

4.1 Meteorologia

A validação automática dos modelos meteorológicos é feita com base nas medições efetuadas nas estações meteorológicas costeiras, Leixões e Sines. Os resultados aqui apresentados correspondem a uma validação para um período de aproximadamente de 6 meses para Leixões e 3 meses para Sines, dos parâmetros temperatura do ar, intensidade do vento e pressão atmosférica. Globalmente, os modelos implementados apresentam uma correlação (R) superior a 0.70, com exceção da intensidade do vento em Leixões que é da ordem de 0.60 (Tabela 4). É também para este parâmetro e para este local que o erro médio é maior, na ordem de 2.3 ms^{-1} podendo ser explicado pelo fato de a variabilidade temporal em Leixões ser mais importante que em Sines, e por isso o GFS não consegue reproduzir os picos originados pelos regimes de ventos mais intensos.

Tabela 4. Resultados estatísticos para os modelos GFS 50 km e WRF 36 km.

Estações	Parâmetro	Modelo	R	RMSE
Leixões	Temperatura do ar	GFS 50 km	0.862	2.44 (°C)
	Intensidade do vento	GFS 50 km	0.604	2.34 (ms ⁻¹)
	Pressão atmosférica	GFS 50 km	0.990	1.06 (mbar)
Sines	Temperatura do ar	WRF36 km	0.850	1.38 (°C)
	Temperatura do ar	GFS 50 km	0.820	1.55 (°C)
	Intensidade do vento	WRF36 km	0.720	1.67 (ms ⁻¹)
	Intensidade do vento	GFS 50 km	0.740	1.69 (ms ⁻¹)

4.2 Nível de maré

O nível do mar previsto pelo MOHID PT 2D e MOHID PT 3D foi validado para um total de 13 estações localizadas desde o Estreito de Gibraltar, região de Portugal e Norte de Espanha (Figura 2) para um período de 3 meses (Dezembro de 2014 a Fevereiro de 2015). Nos marégrafos cujo local se encontra sob influência de estuário, nomeadamente, Vigo, Viana do Castelo, Aveiro, Lisboa e Vila Real de Santo António, o nível não foi analisado. O nível nestes locais é avaliado no âmbito de outros projetos (e.g., AQUASAFE APDL) com modelos de escala menor que contam com o efeito do estuário.

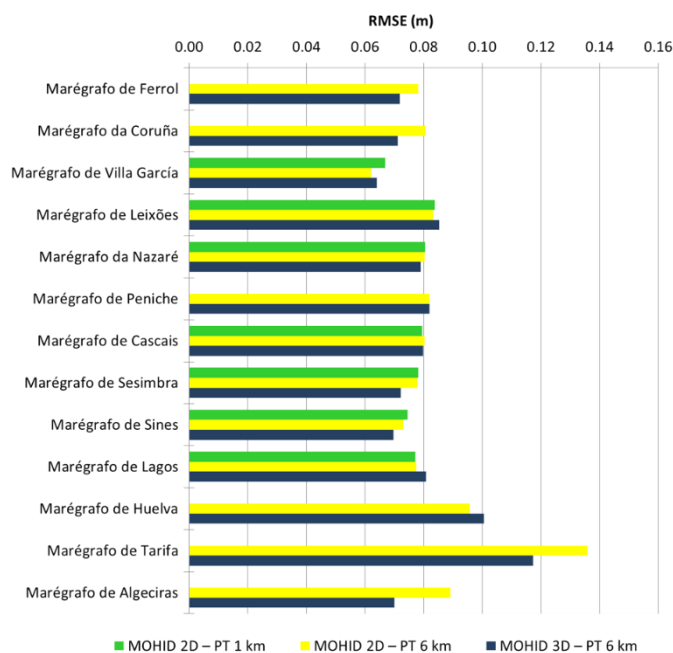


Figura 7. Erro médio obtido entre o nível do mar previsto pelo MOHID PT 2D 1km, MOHID PT 2D 6km e MOHID PT 3D 6km e o medido nos marégrafos.

A previsão do nível do mar fornecida pelo MOHID PT 2D (1 km e 6 km) e MOHID PT 3D (6 km) é estimada com erros médios da ordem de 6 a 7 cm (ordem de 4%) para a Costa Portuguesa e Costa da Galiza. No Estreito de Gibraltar o erro é da ordem de 10 a 12 cm (7 a

8%). Em Gibraltar os erros tendem a ser ligeiramente superiores porque o nível previsto pode estar influenciado pela condição de fronteira do Mediterrâneo. A correlação obtida em todos os locais é elevada e superior a 0.99, podendo-se dizer que as previsões conseguem acompanhar a tendência das medidas. Estes resultados podem ser melhorados com uma nova configuração do MOHID 2D e MOHID 3D, a qual inclui mais componentes de maré no modelo global FES 2012. Testes conduzidos fora da plataforma apontam para uma melhoria, em média, da ordem de 2 cm no nível em todo o domínio de estudo.

4.3 Temperatura da água à superfície

4.3.1 Séries temporais

A previsão da temperatura superficial fornecida pelo MOHID PT 3D é validada no local das boias de medição em tempo real, sendo a análise aqui apresentada correspondente para um conjunto de dados referente a um período de 4 meses (Dezembro de 2014 a Março de 2015). Em Lisboa a previsão do modelo é validada contra os dados do satélite (OSTIA L4) extraídos no mesmo local. Foram utilizados os dados de satélite porque a boia de Lisboa deixou de emitir dados. Os resultados obtidos mostram-se na Figura 6 através de quantificadores estatísticos estimados para cada local. A temperatura da água à superfície é prevista com uma correlação acima de 0.91 e erros da ordem de 0.4 °C, com exceção de Lisboa ($R \sim 0.4$), Alfredo Ramalho ($R \sim 0.5$) e Leixões ($R \sim 0.7$). Em Lisboa não existe correlação entre o modelo e os dados de satélite, mas esta análise deve ser analisada com cuidado. Neste local as comparações são feitas com base na solução de um produto de satélite obtido para uma média diária, que pode trazer erros associados ao próprio tratamento do produto. Em Alfredo Ramalho a correlação é fraca podendo ser explicada por ser uma boia em fase de testes. Leixões apresenta uma correlação inferior aos locais de correlação acima de 0.91 podendo estar relacionado com a influência da pluma do Rio Douro. De fato, a análise efetuada corresponde a um período de dados onde o caudal é mais representativo e o efeito da pluma se faz sentir mais nas camadas superficiais. A diminuição da correlação pode estar relacionada com o efeito que a pluma do Douro tem na temperatura superficial. Nesse sentido, foi analisado para o mesmo local um conjunto de dados equivalente a 4 meses mas representativo de uma situação seca (Abril a Junho de 2015). Para este período de análise a correlação sobe para 0.91 e o erro mantém-se na mesma ordem de grandeza.

Na Figura 9 apresenta-se a série temporal de temperatura superficial obtida com um modelo de previsão local implementado no âmbito do AQUASAFE APDL (linha violeta) e que conta com o efeito da pluma dos Rios Douro e Leça. Este resultado mostra que o modelo costeiro MOHID PT 3D (linha azul) não consegue reproduzir os abaixamentos de temperatura da ordem de 2°C observados nas medidas em situações húmidas mas que reproduz bem a variabilidade da temperatura numa situação de verão. Os resultados apontam para influência da pluma dos rios na variabilidade da temperatura ao longo do tempo, significativamente mais importante nos meses húmidos.

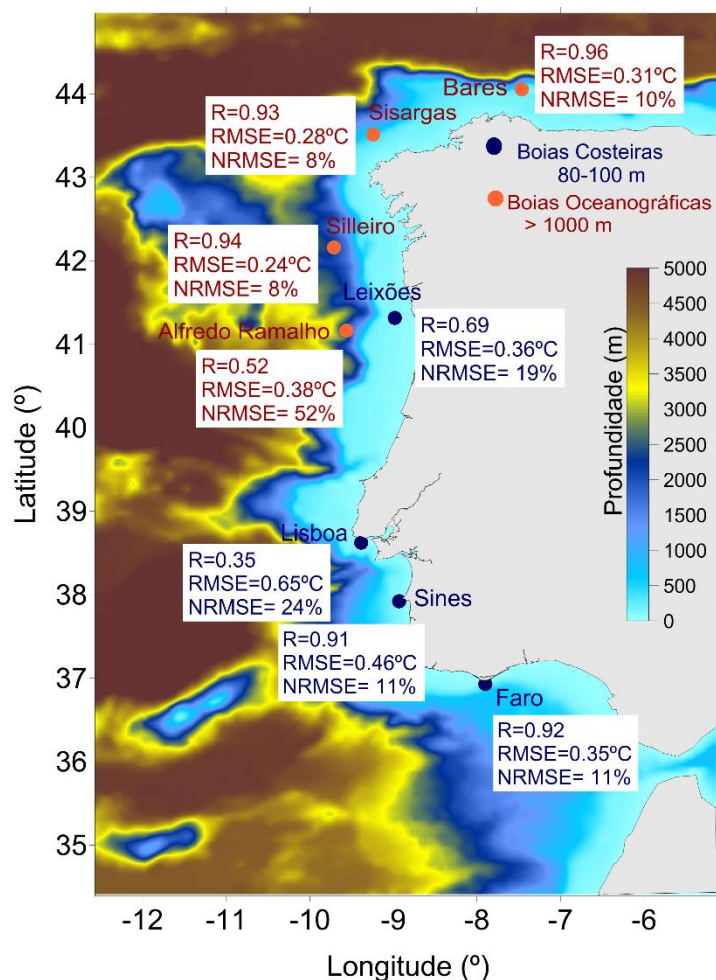


Figura 8. Quantificadores estatísticos obtidos entre a comparação da temperatura à superfície e as medidas no local das boias costeiras e oceanográficas.

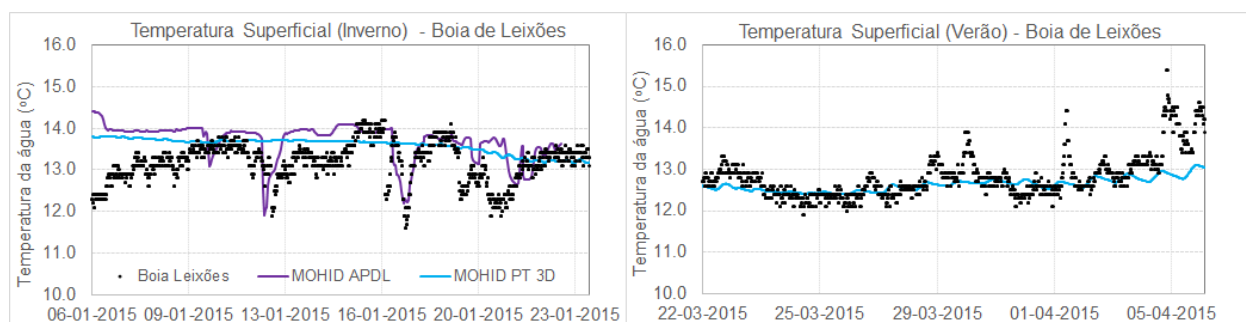


Figura 9. Temperatura superficial na boia de Leixões e sua comparação com o MOHID PT 3D 6 km numa situação de Inverno e de Verão.

4.3.2 Campos de temperatura

Os campos de temperatura à superfície gerados pelo modelo MOHID PT 3D e sua comparação com o produto de satélite OSTIA L4 são validados a nível diário e mensal. A título exemplificativo da validação gerada pelo SOOC de Portugal apresenta-se a média mensal de Maio de 2015 na Figura 10. Em termos globais, pode dizer-se que as previsões do MOHID PT 3D comparam geralmente bem com os dados de satélite, não só em termos de média, mas também em variabilidade espacial, com as regiões identificadas como de

ressurgência a serem detetadas pelo modelo e pelos dados de satélite (embora sempre mais suavizado). Em média, o viés máximo obtido é da ordem de 1 °C, junto a Gibraltar e junto da costa ao longo da região de Portugal. O maior viés nestas zonas é explicado pelo facto de a variação espacial ser mais suavizada nos dados de satélite. Globalmente pode-se dizer que, a média diária e mensal da previsão da temperatura à superfície é feita com um erro médio de 0.5 °C e correlação de 0.98.

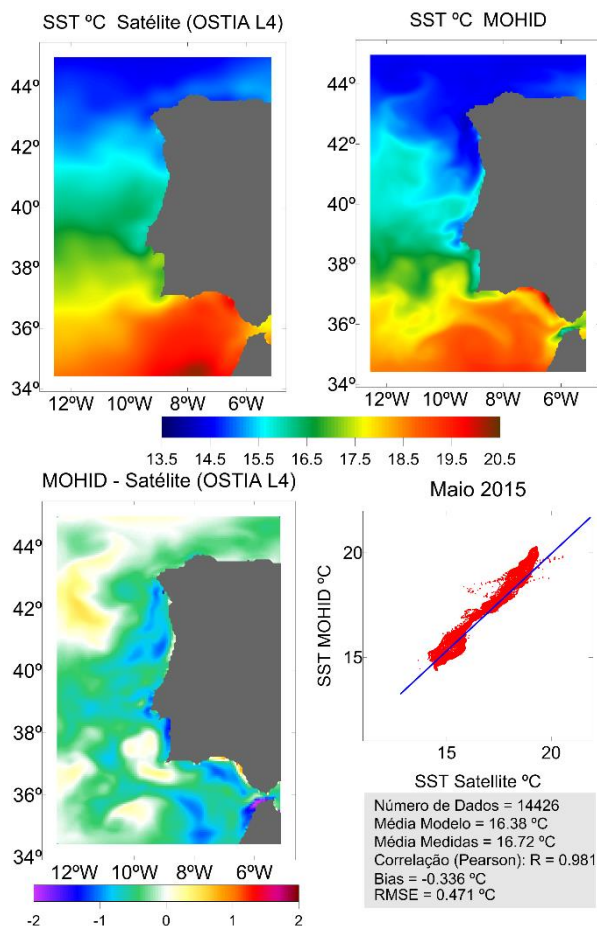


Figura 10. Média mensal (Maio de 2015) da temperatura à superfície obtida com o modelo MOHID PT 3D e com o produto de satélite OSTIA L4. O viés espacial também se apresenta na mesma figura.

4.4 Perfis verticais de salinidade e temperatura

A Figura 11 apresenta o tipo de validação efetuada na vertical pelo SOOC de Portugal tendo como base as previsões do MOHID PT 3D e as medidas de salinidade e temperatura das boias Argo. Regularmente a salinidade e temperatura do modelo é validada na vertical para profundidades máximas de 1000 m e 2000 m no local e dia que encontra dados de boias Argo para comparar.

Globalmente o MOHID PT 3D compara bem com os dados das boias Argo, reproduzindo a variabilidade encontrada na vertical quer em termos do perfil e ordem de grandeza de valores. Em média as são geralmente superiores a (superiores a 0.97) e os erros da ordem de 0.5 °C.

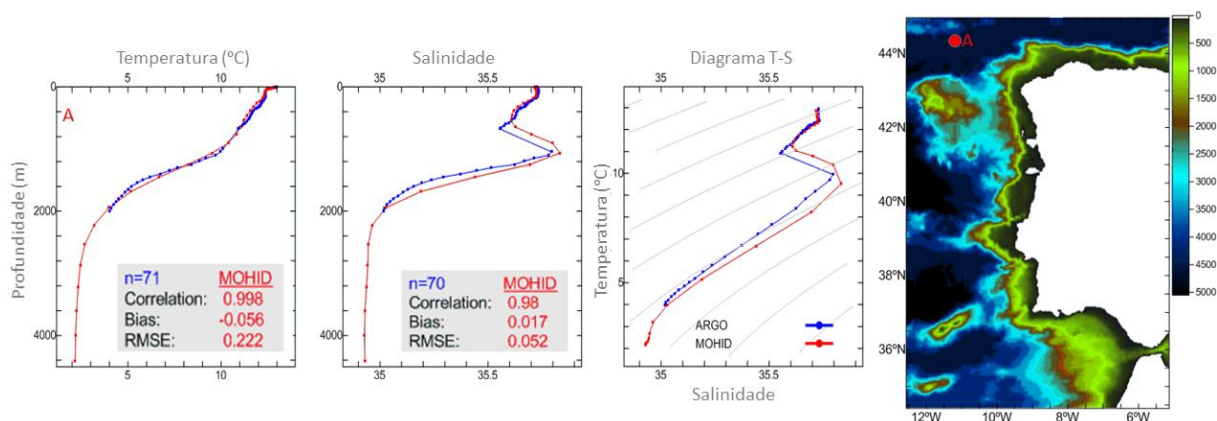


Figura 11. Perfis verticais de temperatura e salinidade obtidos com o modelo MOHID PT 3D e sua comparação com as boias Argos no mesmo local.

4.5 Ondulação

A validação dos modelos de ondulação é feita com base em medições de boias ondógrafo. Os resultados apresentados correspondem a uma análise equivalente a 7 meses de dados no local da boia de Leixões. De forma geral os modelos implementados apresentam uma boa correlação com as medidas para a altura significativa, aproximadamente 90% (Tabela 5). O parâmetro de período médio apresenta igualmente bons resultados para o modelo SWAN ($R=80\%$) e uma correlação de cerca de 70% para o WWIII. A direção média é um dos parâmetros mais complicados de validar, dado que os dados disponíveis estão discretizados por sectores de direção e não por valores absolutos.

Tabela 5. Resultados estatísticos para os modelos WWIII e SWAN.

Parâmetros	Modelo	R	RMSE	RMSE Normalizado (%)	Bias
Altura Significativa	SWAN	0.926	0.65 (m)	15.44	0.45
Altura Significativa	WWIII	0.907	0.55 (m)	13.11	0.23
Período médio	SWAN	0.809	1.45 (s)	21.34	0.72
Período médio	WWIII	0.675	2.91 (s)	42.99	2.58
Direção média	SWAN	0.646	20.19 (°)	27.83	-7.98
Direção média	WWIII	0.663	16.65 (°)	22.95	-8.74

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os sistemas integrados de monitorização de dados meteo-oceanográficos para apoio às atividades marítimas são uma mais-valia para a gestão e planificação. A grande lacuna nestes sistemas está muitas vezes associada à previsão que fornecem, que é na sua maioria à escala global. Previsões efetuadas para a escala regional e que por sua vez possam ser utilizadas para melhor as previsões de escala local são de grande importância para a gestão local das atividades costeiras.

O SOOC de Portugal permite uma integração de dados meteo-oceanográficos, que muitas vezes a sua disponibilidade é na sua maioria rara ou de difícil acesso, previsões de modelos globais e regionais. A verificação deste sistema mostra que é possível reproduzir as condições meteo-oceanográficas adquiridas pelos equipamentos de medição em tempo real reproduzindo a variabilidade temporal observada nas medidas. Especialmente, observaram-se comportamentos similares na temperatura da água à superfície prevista pelo modelo e obtida pelas imagens de satélite. Um sistema como o SOOC permite melhorar a gestão costeira e ter um sistema de monitorização mais robusto, eficaz e a menor custo na região de Portugal.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho é parte integrante do projeto AMOS que é parcialmente financiado pelo programa EEA Grants no âmbito da área programática focada na “Gestão Integrada das Águas Marinhas e Costeiras”. Para mais informação sobre o programa EEA Grants visite <http://www.eeagrants.gov.pt/>

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Booij N., Ris R.C., Holthuijsen L.H., 1999. A third-generation wave model for coastal regions, 1, Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*; **104**:7649–7666.
- 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.
- Leitão, P. C., 1996. Modelo de dispersão lagrangeano tridimensional. MSc dissertation thesis. Technical University of Lisbon.
- 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, 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.
- Navas J.M., Telfera T.C., Rossa L.G., 2011. Application of 3D hydrodynamic and particle tracking models for better environmental management of finfish culture. *Continental Shelf Research*; **31(6)**: 675-684.
- Neves, M. G. (2012). Molhe oeste do Porto de Sines: acidente e reabilitação. Comunicação apresentada na Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, maio.
- Tolman, H., 1991. A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady, and inhomogeneous depths and currents. *Journal of Physical Oceanography* **21 (6)**, 782–797.
- Ribeiro, J., Silva, A.J.R. & Leitão, J.C., Modelos Operacionais de previsão da agitação para suporte à navegação e gestão de riscos, *6as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, PIANC Portugal, Funchal, Outubro de 2009.