

INTEGRAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL POR MÉTODOS NUMÉRICOS DOS PROCESSOS ASSOCIADOS ÀS BACIAS HIDROGRÁFICAS, ESTUÁRIOS E OCEANO REGIONAL PARA A COSTA OCIDENTAL DA PENÍNSULA IBÉRICA

F. CAMPUZANO¹; D. BRITO²; M. JULIANO³; J. SOBRINHO⁴; R. FERNANDES⁵; L. PINTO⁶;
R. NEVES⁷

RESUMO

Para reproduzir o curso da água desde a atmosfera até a sua evacuação no oceano aberto, um sistema de modelos integrados usando o sistema de modelação numérico MOHID (<http://www.mohid.com>) foi desenhado tendo em conta as diferentes escalas espaciais e temporais.

A nível de bacia hidrográfica, o modelo numérico MOHID Land fornece, de forma operacional, caudal e propriedades da água, incluindo nutrientes, para os principais rios da vertente ocidental ibérica. Estes valores são calculados em base malhas regulares com resolução horizontal de 2 km para os rios nacionais e de 10 km para os transfronteiriços. A jusante, várias aplicações operacionais de estuários incorporam estas entradas nos seus cálculos hidrodinâmicos e biológicos. Os dados obtidos por métodos numéricos servem para preencher as lacunas na rede de monitorização hidrográfica nacional (SNIRH). A partir dos resultados dos modelos estuarinos, são calculados os fluxos e propriedades da água intercambiados com a área costeira, sendo tido em conta as flutuações devidas ao efeito da maré. Finalmente, estes fluxos são incluídos no Sistema de Modelação Operacional da Costa Portuguesa (PCOMS no seu acrónimo em inglês). O PCOMS é uma aplicação 3D da hidrodinâmica e ecológica que cobre a região próxima da área atlântica da Península Ibérica.

Este sistema de modelos numéricos uma vez combinado é capaz de melhorar os resultados do sistema operacional no oceano próximo em comparação com a utilização de

¹ MSc; MARETEC, Dep. Eng. Mecânica, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa; campuzanofj.maretec@tecnico.ulisboa.pt; Telefone: +351 218 419 429

² MSc; MARETEC, Dep. Eng. Mecânica, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa; david.brito@tecnico.ulisboa.pt; Telefone: +351 218 419 428

³ Prof. Assoc., LAMTec-ID, Universidade dos Açores. Edifício LAMTec, Marina, Apartado 64, 9760 Praia da Vitória, Ilha Terceira, Açores; manela@uac.pt; Telefone: +351 295 542 200

⁴ MSc; MARETEC, Dep. Eng. Mecânica, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa; joao.sobrinho@tecnico.ulisboa.pt; Telefone: +351 218 419 428

⁵ MSc, MARETEC, Dep. Eng. Mecânica, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa; rodrigo.maretec@tecnico.ulisboa.pt; Telefone: +351 218 419 428

⁶ PhD, MARETEC, Dep. Eng. Mecânica, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa; ljgia.pinto@tecnico.ulisboa.pt; Telefone: +351 218 419 428

⁷ Prof. Assoc., MARETEC, Dep. Eng. Mecânica, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa; ramiro.neves@tecnico.ulisboa.pt; Telefone: +351 218 419 428

climatologias dos rios. A metodologia descrita é genérica e tem sido aplicada a vários estuários na costa portuguesa obtendo-se uma circulação costeira mais precisa. Estes resultados ajudam a entender a importância da variabilidade da precipitação na criação de frentes termais e salinos que são relevantes para a circulação na área costeira e para produção biológica da qual dependem o resto dos níveis tróficos.

Palavras-chave: Modelação numérica; MOHID; bacias hidrográficas; estuários; oceano; ciclo integrado da água.

1. INTRODUÇÃO

Na Península Ibérica, os maiores rios, com a exceção do Rio Ebro, descarregam na costa Atlântica e drenam no seu caminho dois terços do território. Os rios são uma fonte importante de nutrientes e sedimentos para as áreas costeiras receptoras. A fim de determinar a contribuição das águas interiores no oceano aberto, em termos de volume e composição, foi desenhada uma metodologia original para integrar num sistema de modelos o ciclo da água desde a bacia hidrográfica até o seu destino nas águas oceânicas.

Um modelo de bacia hidrográfica foi aplicado na Península Ibérica para caracterizar as descargas fluviais e a sua influência na circulação costeira e nos processos ligados aos nutrientes. As diferentes interfaces encontradas pela água desde as bacias hidrográficas até chegar ao oceano aberto foram reproduzidas através de modelos numéricos pela primeira vez para a costa Portuguesa. As diferentes escalas e processos foram simulados a utilizar as diferentes componentes do sistema de modelação numérico MOHID (<http://www.mohid.com>; Neves, 2013).

2. ABORDAGEM DA MODELAÇÃO NUMÉRICA

Na parte continental do sistema, uma aplicação do modelo MOHID Land para as principais bacias hidrográficas da área ocidental da Península Ibérica permite obter, de forma operacional, o caudal e as propriedades da água, a incluir os nutrientes. Águas em baixo, várias aplicações operacionais para o cálculo da hidrodinâmica e os processos ecológicos para os principais estuários utilizam estes resultados para caracterizar os fluxos de água doce. Este sistema é capaz de preencher as lacunas existentes na rede de observação nacional dos recursos hídricos que se encontra em declive, como acontece a nível mundial (Mishra e Coulibaly, 2009). A partir destes modelos estuarinos são calculados os fluxos de água que entram na costa e as suas respetivas propriedades de água. Estes fluxos não são descargas contínuas pois são condicionadas pelo estado da maré e os seus ciclos associados. Estes fluxos são finalmente importados como condição de fronteira terrestre no Sistema de Modelado Operacional para a Costa Portuguesa (doravante referida como PCOMS, Mateus *et al.*, 2012).

Este complexo sistema de modelos é integrado e sincronizado através da ferramenta ART (Automatic Running Tool), um software para a automatização de simulações adaptada para diferentes modelos numéricos desenvolvido no Instituto Superior Técnico. Esta ferramenta pré-processa as condições de contorno das diferentes fontes necessárias para executar os modelos; executa os modelos MOHID Water e MOHID Land segundo seja a aplicação

selecionada a usar uns ficheiros de configuração predefinidos. Uma vez a simulação tem concluído, armazena, gráfica e distribui os resultados do modelo via OPeNDAP, smartphone e Páginas Web.

2.1. Modelado de Bacias Hidrográficas

Duas aplicações que cobrem com diferente resolução horizontal a área de estudo foram desenhados para fornecer resultados de alta resolução para o território continental português e também para reproduzir a escala espacial dos grandes rios transfronteiriços que descarregam na costa ibérica ocidental p.e. os rios Tejo, Douro e Guadiana. Com base nos modelos de elevação digital do terreno da NASA foram construídos os seguintes dois domínios (Figura 1):

- Domínio da Península Ibérica (Domínio PI) com uma resolução horizontal de 10 km
- Domínio de Ibéria Ocidental (Domínio IO) com uma resolução horizontal de 2 km

Ambos os domínios foram preenchidos com dados de uso do solo Corine 2006 - CLC2006 (EEA, 2007) e com informação do tipo e das características hidráulicas do solo, conhecidos como parâmetros van Genuchten, obtidos da base de dados Joint Research Centre (<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/>). Com estas informações foi possível determinar o caudal natural de água que flui nos rios, sem tomar em consideração as perdas devidas ao consumo humano, ao armazenamento de água e às barragens que poderiam influenciar o caudal do rio e a quantidade de água que atinge a costa.

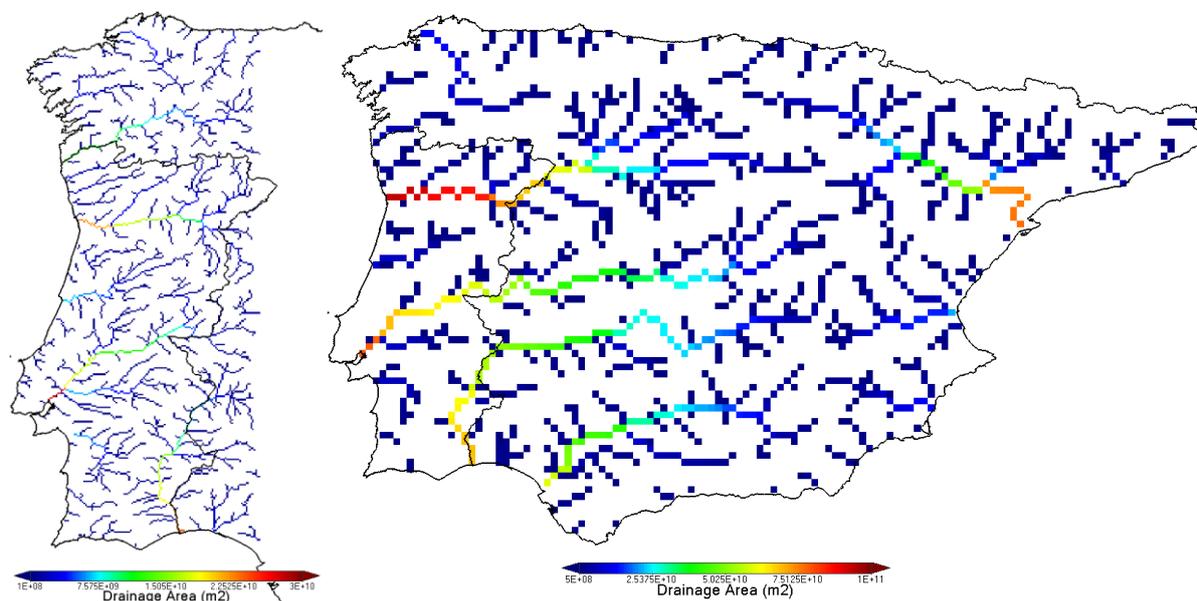


Figura 1. Principais linhas de água da Península Ibérica e área de drenagem coberta do Domínio IO (esquerda) com uma resolução de 2 km e Domínio PI com uma resolução de 10 km (direita).

2.2. Integração com o modelo oceânico.

Os modelos de bacias hidrográficas foram ligados com a área costeira através de modelos de estuário. Os estuários recebem os aportes de água doce a partir dos resultados dos

modelos de bacias hidrográficas (por exemplo no caso dos estuários de Aveiro, Minho, Lima, etc.) ou do sistema de monitorização nacional (<http://www.snirh.pt>) no caso da existência de estações de observação automáticas (p.e. no caso dos estuários do Douro, Tejo e Mondego). A partir destes modelos estuarinos foram calculados os fluxos e concentração em determinadas secções que serão adicionadas na próxima etapa na aplicação oceânica regional PCOMS que simula os processos hidrodinâmicos e ecológicos em 3-Dimensões (3D). Se a aplicação numérica do estuário fosse 3D, como é no caso da embocadura do Tejo (Campuzano *et al.*, 2012), as descargas são impostas nas profundidades correspondentes. No caso do resto dos modelos estuarinos são bidimensionais (2D), a descarga é imposta apenas na camada superficial. Caso não existir um modelo para o estuário, a descargas fluvial é imposta diretamente no modelo de circulação regional PCOMS com uma salinidade constante de 32 psu.

2.3. Modelado oceânico.

O modelo PCOMS é uma aplicação numérica regional hidrodinâmica 3D, que tem em conta as componentes baroclínicas (escoamento devido às diferenças de densidade), e ecológica que realiza uma redução de escala da solução Mercator-Océan PSY2V4 para o Atlântico Norte com uma resolução horizontal de 0.06° e com 50 camadas verticais (7 camadas em coordenadas sigma sobre 43 camadas em coordenadas cartesianas) com uma resolução de até 1 m de espessura perto da superfície (Figura 2). A maré é forçada a partir das componentes harmónicas obtidas da solução global de maré FES2004 e impostas ao longo do contorno (Lyard *et al.*, 2006).

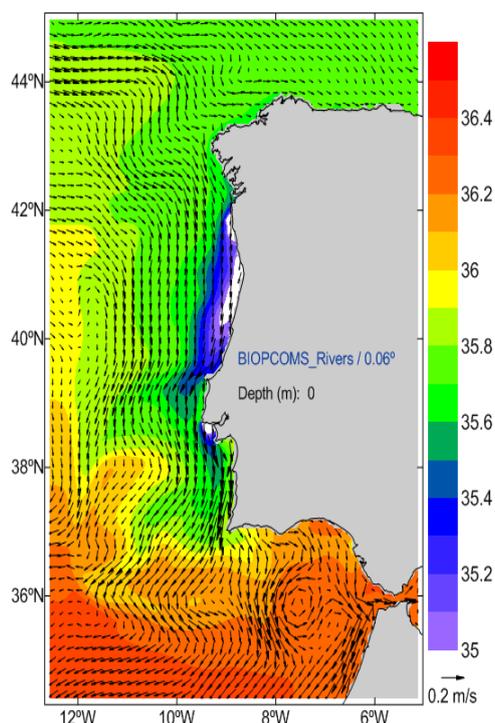


Figura 2. Salinidade média da superfície do mar para o mês de junho de 2012. As áreas em branco correspondem a salinidades com valores inferiores a 35 psu.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A incorporação dos fluxos estuarinos na costa modifica a circulação na sua proximidade e pode criar frentes salinas. A acumulação de embocaduras de rios na área centro-norte de Portugal dá lugar a formação duma única frente denominada como West Iberia Buoyant Plume (Pluma flutuante de Ibéria Ocidental ou WIBP no seu acrónimo em inglês). A sua presença tem sido observada também nos meses de verão, ainda se as descargas de água doce dos rios é inferior (Peliz *et al.*, 2002). O sistema de modelos apresentado consegue reproduzir este fenómeno, como exemplo mostramos aquele gerado durante o mês de junho de 2012 (Figura 2). Além de influenciar a circulação, as entradas de água doce provenientes dos rios afeta a produção primária pela aportação de nutrientes ao sistema costeiro. O sistema de modelos aqui apresentado tem sido implementado de forma operacional para fornecer previsões e os seus resultados podem ser acedidos na pagina web <http://forecast.maretec.org>.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Projeto Energymare do programa Interreg Area Atlântica (Numero de contrato 2011-1/157) e pelo Projeto EMOSEM financiado pela agência nacional de pesquisa francesa (ANR) e a agência de ciência belga (BELSPO) enquadrado no programa Seas-era do EU FR7 ERA-NET.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Campuzano FJ, Fernandes R, Leitão PC, Viegas C, de Pablo H, Neves R. Implementing local operational models based on an offline downscaling technique: The Tagus estuary case. 2.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, 20-22 June 2012, Lisbon, Portugal. Extended abstracts: 105-108.
- EEA, 2007. CLC2006 technical guidelines. Technical report, 17. EEA Copenhagen. http://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2007_17.
- Lyard F., Lefevre F., Letellier, T. and Francis, O. (2006). Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004, *Ocean Dynamics*, 56, 394-415.
- Mateus M., Riflet G., Chambel P., Fernandes L., Fernandes R., Juliano M., Campuzano F., de Pablo H., Neves R. (2012). An operational model for the West Iberian coast: products and services, *Ocean Science*, 8, 713-732.
- Mishra, A.K., Coulibaly, P., 2009. Developments in hydrometric network design: A review. *Reviews of Geophysics*, 47(2), RG2001.
- Neves R. (2013). The MOHID concept. In: M. Mateus & R. Neves (Eds.). *Ocean modelling for coastal management - Case studies with MOHID*. IST Press, Lisbon, 1-11.
- Peliz Á., Rosa T.L., Santos A.M.P., Pissarra J.L. (2002) Fronts, jets, and counter-flows in the Western Iberian upwelling system, *Journal of Marine Systems*, Volume 35, Issues 1–2, Pages 61-77.