



# OPERACIONALIZAÇÃO DE MODELOS HIDRODINÂMICOS PARA PREVISÃO DE NÍVEIS DO MAR DURANTE A OCORRÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS

José PINHO<sup>1</sup>, Luís VIEIRA<sup>1</sup>, Ana GOMES<sup>1</sup>, W.W. Melo<sup>1</sup>, José VIEIRA<sup>1</sup>, Isabel IGLESIAS<sup>2</sup>, A. BIO<sup>2</sup>, Paulo AVILEZ-VALENTE<sup>2,3</sup>, Luísa BASTOS<sup>2,4</sup>, Fernando VELOSO-GOMES<sup>2,3</sup>

1. Departamento de Engenharia Civil – Universidade do Minho; Campus de Gualtar 4704-553 Braga, Portugal, [jpinho@civil.uminho.pt](mailto:jpinho@civil.uminho.pt); [luis.vasquez.vieira@gmail.com](mailto:luis.vasquez.vieira@gmail.com); [carolina\\_gomes@live.com](mailto:carolina_gomes@live.com); [jvieira@civil.uminho.pt](mailto:jvieira@civil.uminho.pt);

2. CIIMAR – Universidade do Porto; Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões 4450-208 Matosinhos, Portugal [iiglesias@ciimar.up.pt](mailto:iiglesias@ciimar.up.pt); [anabio@ciimar.up.pt](mailto:anabio@ciimar.up.pt); xxx; [lcbastos@fc.up.pt](mailto:lcbastos@fc.up.pt); [vgomes@fe.up.pt](mailto:vgomes@fe.up.pt);

3. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 4200-465 Porto, Portugal [pvalente@fe.up.pt](mailto:pvalente@fe.up.pt); [vgomes@fe.up.pt](mailto:vgomes@fe.up.pt)

4. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto; 4150-179 Porto, Portugal [lcbastos@fc.up.pt](mailto:lcbastos@fc.up.pt)

## RESUMO

A adaptação às alterações climáticas deverá ser baseada em princípios de precaução que deverão incluir uma monitorização contínua e detalhada. Esta deverá ser complementada com a aplicação de ferramentas de simulação/previsão disponíveis que permitam antecipar eventuais consequências de eventos extremos. No presente artigo é apresentada uma metodologia de construção, calibração e validação de modelos de propagação de agitação marítima e resultados de níveis extremos em diferentes cenários climáticos e que foi desenvolvida tendo em vista a operacionalização dos modelos através da plataforma FEWS. É utilizado o *software* SWAN na implementação de um modelo regional da zona costeira da Península Ibérica, que possibilita a aplicação de uma metodologia de *downscaling* dinâmico de resultados de modelos globais (atmosféricos e oceânicos), e que permite a implementação de modelos locais de elevada resolução espacial (Delft3D). A interação dos modelos assim acoplados permite simular a propagação da agitação marítima até localizações próximas da costa. Para a modelação dos processos que governam a dinâmica sedimentar na interface mar-terra, utilizam-se resultados obtidos com a aplicação do *software* XBeach (1D e 2D), integrados no sistema de modelação SWAN + Delft3D. Os modelos funcionam de forma autónoma ou integrados na plataforma FEWS, permitindo a automatização da execução das simulações, processamento de resultados para locais específicos e eventual emissão de avisos e alertas.

**Palavras-Chave:** Modelos operacionais; morfodinâmica costeira; previsão, alterações climáticas.

## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento dos processos de dinâmica costeira apresenta um elevado grau de complexidade, sendo todavia fundamental para um correto planeamento deste território e para a conceção de intervenções eficazes. Embora se apresentem com elevada complexidade, só o conhecimento aprofundado destes processos permite uma eficaz valorização e conservação de um território de reconhecida importância estratégica (Pinho, 2017). O estudo dos processos morfodinâmicos na costa portuguesa, pelas suas especificidades, constitui uma oportunidade para que a comunidade técnica e científica possa desenvolver metodologias e soluções inovadoras que poderão ser replicadas noutros locais de estudo.

A análise da vulnerabilidade das zonas costeiras e da sua evolução, em consequência dos fatores ambientais é essencial para o ordenamento territorial planeado, uma vez que permite conciliar valores humanos, económicos, ecológicos e culturais neste território específico, com a sua dinâmica intrínseca. Em particular, a vulnerabilidade das zonas costeiras às ações do mar, pode ser entendida como a predisposição a um dado risco, englobando diversos elementos e conceitos, como a sensibilidade ou suscetibilidade ao dano e a falta de capacidade de adaptação. As zonas mais vulneráveis deverão ser objeto de abordagens que permitam antecipar eventuais efeitos de alterações climáticas (IPCC, 2014).

O presente trabalho apresenta resultados da aplicação de uma metodologia de modelação integrada de processos costeiros em cenários de alterações climáticas (RCP4.5 e RCP8.5), aplicada aos casos de estudo das localizações estuarinas dos rios portugueses Lima e Minho. A metodologia adotada parte da realização de um *downscaling* dinâmico de modelos regionais de propagação da agitação marítima da Península Ibérica até modelos locais costeiros de elevada resolução espacial. Os modelos foram desenvolvidos para posterior operacionalização na plataforma FEWS.

## 2. METODOLOGIA

Para a modelação hidro-morfodinâmica das zonas costeiras em estudo optou-se, numa primeira fase, pela criação de modelos regionais de simulação da propagação da agitação marítima desde uma fronteira oceânica até à costa. Estes modelos regionais permitem estabelecer condições de fronteira em modelos locais, que permite a simulação de processos relevantes para a avaliação dos riscos costeiros, incluindo propagação da agitação, ação da maré e vento (Santos et al., 2018).

Os modelos regionais, foram criados com o *software* SWAN (SWAN, 2018). Este programa permite implementar modelos para simular a propagação da agitação marítima registada ou estimada por outros modelos até localizações próximas da costa. Foram utilizados nas condições de fronteira os espectros de agitação simulados pelo modelo oceânico WaveWatch III (WWIII) (Tolman, 2002) para o regime de agitação histórico e para cenários futuros. Estes dados foram conjugados com informações relativas aos campos de vento e pressão atmosférica da base de dados Europeia ECMWF. Realiza-se, assim, o *downscaling* dos resultados da agitação marítima obtidos com aqueles modelos para a escala dos modelos locais implementados para as embocaduras dos rios Lima e Minho.

Para a simulação integrada da propagação da agitação e correntes costeiras resultantes da ação do vento e maré, foi utilizado o *software* Delft3D (Deltares, 2018). Este programa permite simular processos que envolvem correntes, agitação (com recurso ao modelo SWAN) e transporte sedimentar.

Para além dos modelos locais anteriores, foram implementados modelos costeiros com o modelo numérico XBeach (Roelvink et al., 2009). Este programa permite simular processos hidrodinâmicos de propagação e transformação da agitação (refração, empolamento e rebentação) e de propagação e transformação de ondas infragravíticas (geração, propagação e dissipação), bem como o galgamento, inundação e morfodinâmica de praias. Utilizam como condições de fronteira o espectro resultante dos modelos locais na respetiva localização. No esquema da Figura 1 apresenta-se o encadeamento e dependências do conjunto de modelos assim como das principais fontes de dados utilizados no presente trabalho.

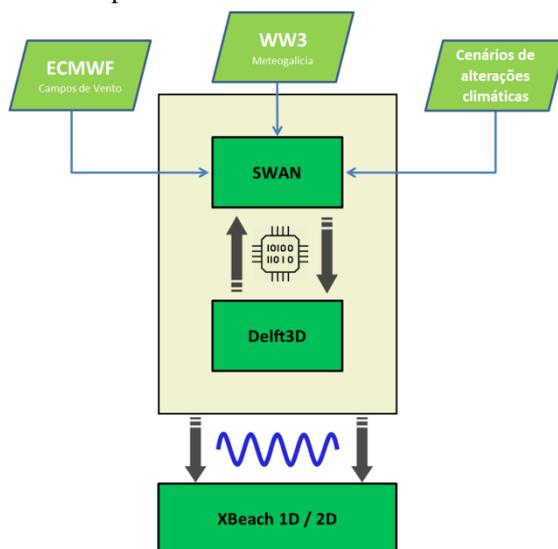


Fig. 1. Metodologia de definição de modelos e respetiva integração – esquema conceptual.

### 3. RESULTADOS

Apresentam-se resultados de caracterização do regime de agitação marítima nos locais de estudo na proximidade dos estuários dos rios Minho e Lima, numa simulação relativa ao ano de 2004 ao largo da costa da Península Ibérica. O modelo utilizou como condições impostas nas fronteiras abertas os espectros de agitação resultantes do modelo oceânico WWIII, realizando a propagação da agitação marítima até às fronteiras dos modelos locais de elevada resolução espacial. São apresentados resultados da quantificação do regime de agitação, sob a forma de rosa de agitação, em quatro localizações correspondentes às áreas de estudo (Figura 2). As localizações A, B e C encontram-se distantes 500 m da batimétrica -2 m (NMM) sendo que as localizações D situam-se nas embocaduras do rio Lima e Minho. A Figura 2 apresenta também resultados para um cenário de alterações climáticas (RCP 4.5 2050) nos perfis de praia selecionados assim como nas zonas costeiras adjacentes aos estuários.

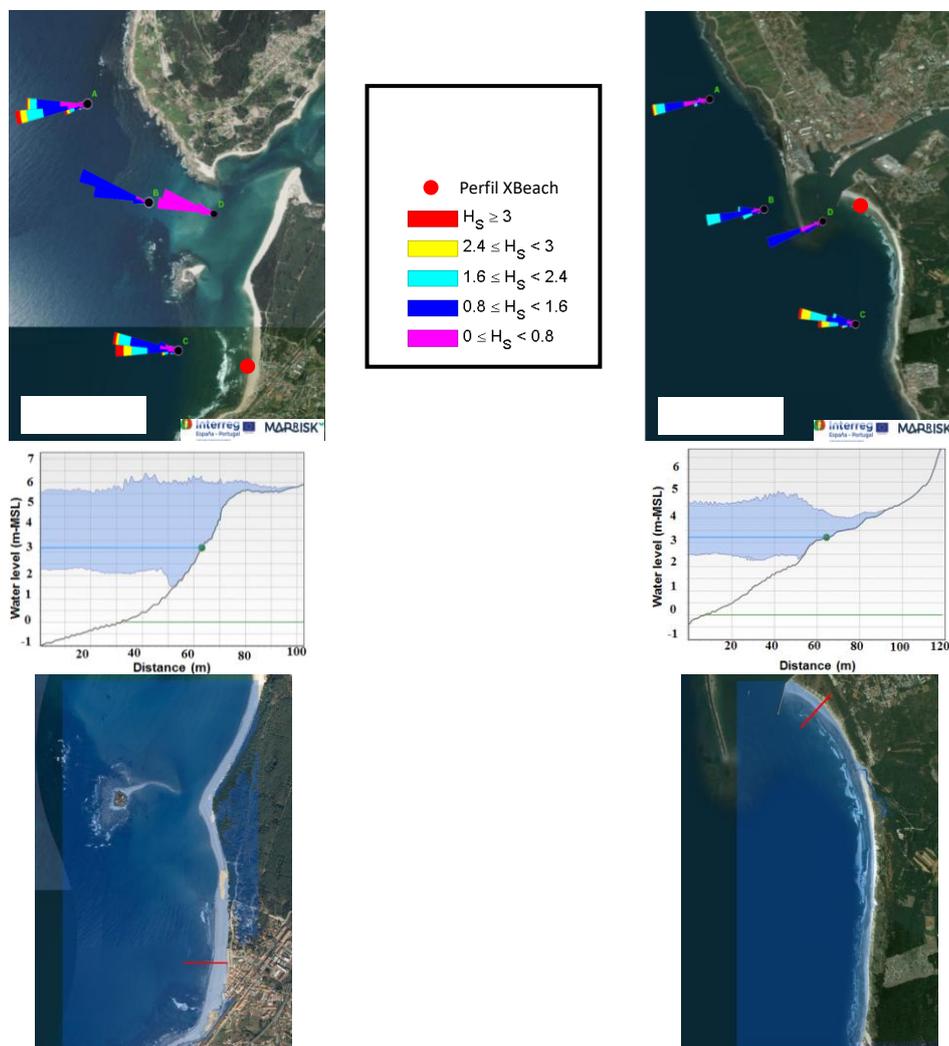


Fig. 2. Altura significativa e direções da agitação nas áreas de estudo do rio Minho (painel superior esquerdo) e do rio Lima (painel superior direito) obtidas a partir de resultados de modelação hidrodinâmica; resultado das simulações de níveis extremos para a praia de Moledo (painel intermédio esquerdo) e para a praia de Cabedelo (painel intermédio direito); resultado das simulações de níveis extremos para as zonas costeiras adjacentes ao estuário do rio Minho (painel inferior esquerdo) e rio Lima (painel inferior direito).

### 4. CONCLUSÕES



As alterações climáticas constituem uma ameaça com potenciais impactos significativos nos atuais padrões climatológicos. À medida que as alterações climáticas se vão evidenciando através da observação de diferentes variáveis ambientais, torna-se necessário antecipar os seus eventuais impactos para a identificação de vulnerabilidades importantes e das necessidades de adoção das necessárias medidas de adaptação e mitigação.

A metodologia apresentada no presente trabalho, baseada nos modelos mais avançados existentes na atualidade com capacidade de simulação de processos costeiros, revelou-se eficaz quando aplicada em dois casos de estudo na costa Noroeste portuguesa. Foi possível avaliar cenários de médio e longo prazo para as condições de agitação e níveis extremos, que previsivelmente irão incidir na zona costeira do NO da Península Ibérica.

Os níveis extremos conjugados com eventos intensos de agitação marítima conduzirão a galgamentos que são evidentes nos resultados das simulações obtidas para a praia de Moledo. A praia de Cabedelo apresenta-se menos vulnerável a este tipo de ocorrência, nas condições e local analisado, pela proteção resultante dos molhes da embocadura do rio Lima.

A plataforma tecnológica em implementação na UMinho, permite a assimilação de dados de monitorização e utiliza as previsões de curto, médio e longo prazo para forçar modelos hidrodinâmicos e morfodinâmicos, constituindo a resposta adequada a uma ameaça clara cujas consequências se apresentam ainda com níveis de incerteza muito elevados.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao projecto 0262\_MarRISK\_1\_E, o apoio concedido para a realização deste estudo, possibilitando o desenvolvimento e aplicação de ferramentas hidroinformáticas, contribuindo para um melhor conhecimento das condições de resiliência ao impacto de alterações climáticas na zona costeira da Euro Região Norte de Portugal e Galiza. Este estudo foi parcialmente apoiado pelo fundo estratégico UID/Multi/04423/2019 através de fundos nacionais da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia e o Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (ERDF), no âmbito do programa PT2020.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Deltares (2018) Delft3D. <http://oss.deltares.nl/web/delft3d/manuals> Acedido em Novembro de 2019.
- IPCC (2014) Annex II: Glossary. In: Climate Change 2014, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1757-1776.
- Pinho J (2017) Monitorizar a morfodinâmica para conhecer bem e gerir melhor a zona costeira. Seminário - Inovação e Gestão Colaborativa para a Sustentabilidade das Zonas Costeiras, Braga, 9 De Junho de 2015, ISBN:978-989-20-7316-3, 29-32, Universidade do Minho
- Roelvink D, Reniers A, Van Dongeren P, de Vries JVT, McCall R, Lescinski J (2009) Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. Coastal engineering, 56(11), 1133-1152.
- Santos L, Gomes M, Vieira L, Pinho J, Antunes do Carmo J (2018) Storm surge assessment methodology based on numerical modelling. In 13th International Conference on Hydroinformatics - HIC 2018, Vol. 3, pp. 1876-1884. EasyChair.
- SWAN (2018) Delft University of Technology. <http://www.tudelft.nl/en/ceg/about-faculty/departments/hydraulic-engineering/sections/environmental-fluid-mechanics/research/swan/> Acedido em Novembro de 2019.
- Tolman H (2002) “User Manual and system documentation of WAVEWATCH-III” – version 2.22, N.O.A.A., National Centers for Environmental Prediction, OMB Technical Note 222, Camp Springs, MD, U.S.A.