



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

## RISCOS COSTEIROS E ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS: CONTRIBUTOS PARA A SUA AVALIAÇÃO

J.L.S. PINHO<sup>1</sup>; L. VIEIRA<sup>2</sup>; J.M.P. VIEIRA<sup>3</sup>; G. SMIRNOV<sup>4</sup>; J.A. GONÇALVES<sup>5</sup>; L. BASTOS<sup>6</sup>; A. BIO<sup>7</sup>;

<sup>1</sup> Professor Auxiliar, Universidade do Minho, jpinho@civil.uminho.pt

<sup>2</sup> Eng. Civil, Universidade do Minho, luis.vasquez.vieira@gmail.com

<sup>3</sup> Professor Catedrático, Universidade do Minho, jvieira@civil.uminho.pt

<sup>4</sup> Professor Catedrático Universidade do Minho, smirnov@math.uminho.pt

<sup>5</sup> Professor Auxiliar, Fac. Ciências, Universidade do Porto, jagoncal@fc.up.pt

<sup>6</sup> Investigador Principal, Fac. Ciências, Universidade do Porto, lcbastosl@fc.up.pt

<sup>7</sup> Investigador Auxiliar, CIIMAR – Universidade do Porto, anabio@ciimar.up.pt

### Resumo

O projecto MarRISK tem como objectivo contribuir para uma gestão sustentada da zona costeira através da aquisição e consolidação do conhecimento sobre os processos que determinam os riscos costeiros. Pretende-se preencher lacunas de conhecimento com o desenvolvimento de ferramentas que convertam a informação fornecida em serviços meteorológicos. Estas serão utilizadas para o planeamento e gestão a implementar por decisores e outras entidades que desenvolvam actividades ligadas aos ambientes costeiros e ao mar. O projecto visa assegurar um desenvolvimento inteligente e sustentável das zonas litorais da Galiza e Norte de Portugal, através da avaliação dos riscos costeiros mais importantes em cenários de alterações climáticas.

No presente trabalho apresentam-se aspectos metodológicos das actividades que estão a ser desenvolvidas pelos grupos de investigadores da Universidade do Minho e do Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental no âmbito do projecto. Três tipos de riscos costeiros serão avaliados: (i) erosão; (ii) galgamentos costeiros; e (iii) inundações costeiras. Para tal, as actividades incorporam informação e conhecimentos adquiridos nas últimas décadas pelas equipas de investigação, bem como metodologias de avaliação dos riscos associados às alterações climáticas, com recurso a dados de monitorização e a ferramentas de modelação matemática. Apresenta-se um modelo regional de propagação da agitação marítima desde uma das bóias ondógrafo instaladas e disponíveis para o projecto, que permite simular a propagação da agitação marítima até localizações próximas da costa.

**Palavras-chave:** Erosão Costeira, Galgamento, Inundações, Alterações Climáticas, Modelação Hidrodinâmica, Modelação Morfodinâmica.

**Tema:** Mar, zonas costeiras e obras marítimas.



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

## 1. DESCRIÇÃO DO PROJECTO

As zonas costeiras constituem espaços geográficos em constante evolução por se tratar de áreas de transição entre domínios distintos, o continente e o oceano, de onde emanam forças construtivas e destrutivas em permanente procura de equilíbrios dinâmicos. Nas últimas décadas, estas zonas têm sido submetidas a intensas transformações económicas, sociais e culturais, em resultado da concentração de um grande número de actividades humanas (urbanização, turismo, indústria, exploração marítima, entre outras), que contribuem para a riqueza socioeconómica e para o bem-estar quer a nível local quer a nível nacional. A estas transformações associam-se fortes pressões e modificações físicas, registando-se, muitas vezes, perdas irreparáveis. Neste sentido, torna-se fundamental o desenvolvimento de políticas de gestão integrada adequadas a estes ambientes sensíveis e aos seus ecossistemas naturais de elevada vulnerabilidade.

O projecto MarRISK é um projecto de cooperação aprovado pelo POCTEP (Programa Operativo Transfronteiriço Portugal – Espanha) cujas instituições participantes integram um consórcio de 13 parceiros de Portugal e Espanha, que conta com as universidades do Minho, Vigo e Aveiro, o Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR), o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), o Instituto Hidrográfico (IH), a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), o Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência (INESC TEC), o Centro Tecnológico del Mar Fundación CETMAR, o Instituto Tecnológico para o Control do Medio Mariño de Galicia (INTECMAR), o Instituto de Investigaciones Marinas (IIM-CSIC) e o Instituto Espanhol de Oceanografia (IEO).

Este projecto, coordenado pela MeteoGalicia (Secretaria Xeral de Calidade e Avaliación Ambiental), tem como principais objectivos: (i) a consolidação de uma infraestrutura de conhecimento para a avaliação de riscos costeiros no contexto das alterações climáticas; (ii) a aplicação de ferramentas que permitam melhorar a gestão do litoral num cenário de alterações climáticas; (iii) a melhoria da resiliência das regiões costeiras através do desenvolvimento de serviços climáticos; e (iv) a implicação das partes interessadas na consecução de comunidades costeiras mais resilientes às alterações climáticas.

O presente artigo foca-se na metodologia adoptada para a avaliação dos três tipos de riscos costeiros que serão objeto de estudo: (i) erosão; (ii) galgamentos costeiros; e (iii) inundações costeiras. O âmbito espacial do projecto é o trecho costeiro Caminha-Espinho, para o qual a metodologia, suportada por ferramentas de modelação da hidrodinâmica e morfodinâmica costeira, está a ser especificamente desenvolvida. Seleccionaram-se dois locais piloto para uma abordagem detalhada: os estuários dos rios Minho e Lima.

Com esta abordagem pretende-se contribuir para um desenvolvimento inteligente e sustentável das zonas litorais da Galiza e Norte de Portugal, através da avaliação dos riscos costeiros mais importantes em cenários de alterações climáticas. Intensificação de eventos extremos, ocorrência de episódios de algas tóxicas e erosão costeira, são exemplos de riscos a analisar no âmbito do projeto por outras equipas, por forma a melhorar a resiliência

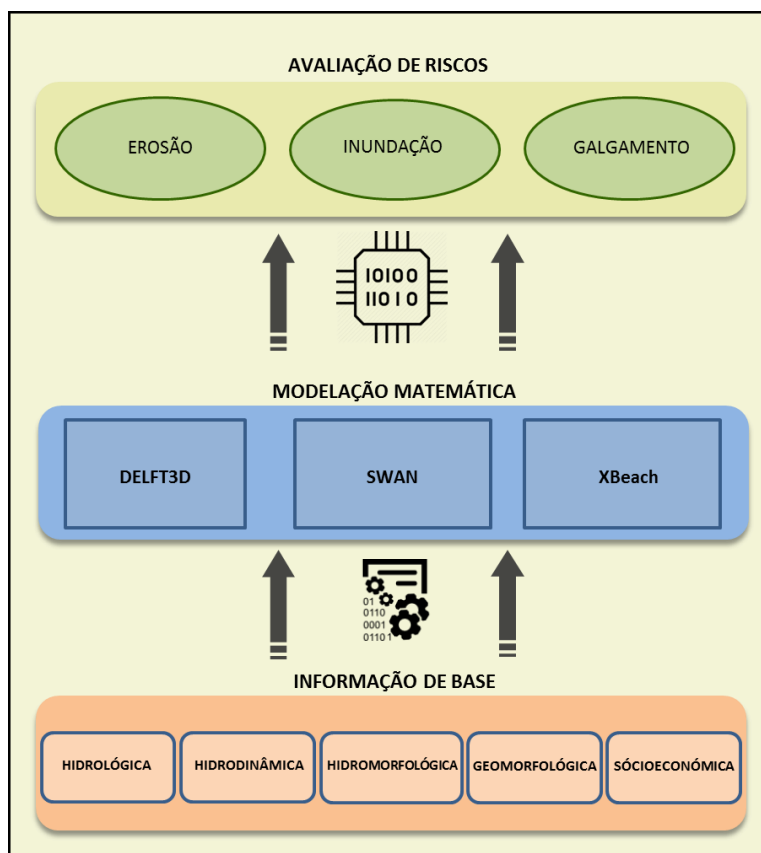
dos sectores económicos tradicionais e de outros sectores emergentes, como as energias marinhas renováveis. Desta forma, será melhorada a adaptação da área de cooperação face a possíveis catástrofes e serão desenvolvidos aplicações e serviços para garantir uma resposta coordenada, potenciando os benefícios de um projeto com estas características de âmbito geográfico transfronteiriço.

## 2. METODOLOGIA

Uma das tarefas definidas para a abordagem a este projecto compreende a consolidação de uma infra-estrutura de conhecimento com informação de base relevante e que permitirá avaliar os potenciais riscos ambientais associados às alterações climáticas, a partir de indicadores ambientais baseados em variáveis atmosféricas, oceanográficas, geológicas e biológicas.

Em paralelo serão construídos modelos regionais e locais, com base nos *software* Delft3D (Delft3D, 2018), *Simulating Waves Nearshore* (SWAN, 2018) e *eXtreme Beach behaviour* (XBeach, 2018), adequados à simulação dos processos hidro-morfodinâmicos a utilizar na avaliação dos riscos de erosão, galgamento e inundação costeiros. Procurar-se-á gerar o conhecimento necessário sobre as futuras condições costeiras na região Galiza–Norte de Portugal no quadro de alterações climáticas que se produzam nesta região, tendo em conta diferentes cenários. Para isso, serão utilizadas ferramentas dinâmicas, como modelos de previsão e estatísticas que possam fornecer informações e identificar padrões a partir de dados preexistentes. Os resultados destes modelos serão complementados com informação resultante de monitorização e utilizados na avaliação dos riscos considerados em conformidade com metodologias específicas a desenvolver no âmbito do projecto.

Apos a realização das tarefas de modelação matemática, será feita uma identificação e sistematização da informação produzida e dos resultados obtidos. Será contemplado o desenvolvimento de um conjunto de acções destinadas a transferir o conhecimento necessário às diferentes entidades interessadas, com o objectivo de proporcionar o adequado aproveitamento dos resultados do projecto e de estudar medidas que permitam enfrentar os efeitos das alterações climáticas nesta zona costeira transfronteiriça. Como objectivo final, pretende-se melhorar a capacidade dos diferentes agentes económicos e sociais face aos cenários simulados e facilitar o seu envolvimento nas acções de adaptação a adoptar para minimizar impactos negativos que delas possam resultar. Na Figura 1 esquematiza-se a metodologia a aplicar no desenvolvimento do projecto.



**Figura 1.** Metodologia de estudo – esquema conceptual

## 2.1 Avaliação do risco de erosão

A abordagem à avaliação do risco de erosão costeira terá como ponto de partida a metodologia aplicada noutros trabalhos desenvolvidos para o litoral do concelho de Vila Nova de Gaia (Granja et al., 2014), com as necessárias adaptações/desenvolvimentos para a sua extensão a todo o trecho Caminha-Espinho. Na fase inicial proceder-se-á a uma observação de pormenor da faixa costeira do NO de Portugal, dando especial importância aos indicadores de mudança observáveis nos segmentos de costa em estudo, possibilitando o seu seccionamento em trechos de características definidas. Este processo de identificação dos trechos é baseado numa divisão primária da faixa costeira, tendo em conta um conjunto de indicadores que traduzem as suas principais características físicas e socioeconómicas, permitindo obter uma subdivisão da zona costeira em segmentos relativamente homogéneos. Os indicadores considerados incluirão duas dimensões: aspectos geomorfológicos e ocupação antrópica.

Seguir-se-á a fase de quantificação de indicadores de vulnerabilidade e impacto. Serão considerados, entre outros, os seguintes indicadores costeiros: (i) tipos de praia; (ii) tipos de costa; (iii) posição da linha de costa; (iv) posição da linha de praia; (v) posição de curvas de nível características; (vi) largura de praia; (vii) declive da face da praia; (viii) cotas de berma, base e crista da duna; (ix) volume de duna e da praia; (x) distância entre confinamentos laterais; (xi) granulometria; (xii) vegetação; (xiii) dunas embrionárias; (xiv) barras submersas;

(xv) plataformas rochosas; e (xvi) lagunas ou rias; para além de indicadores de agitação marítima.

Relativamente à altitude, inclinação, largura e volume de sedimentos, estes indicadores serão quantificados a partir do resultado dos levantamentos LiDAR de 2011 e de outros levantamentos realizados no âmbito do projecto. O indicador vegetação será obtido através de análise de fotografia aérea e de imagens de satélite. Para a quantificação de indicadores relacionados com a agitação recorrer-se-á a resultados de observação e de modelação matemática.

O risco de erosão será determinado a partir da conjugação destes indicadores, procedendo-se depois à classificação de cada um dos trechos da costa NO de Portugal.

Para além desta abordagem serão também considerados os riscos costeiros de erosão caracterizados através de outras abordagens baseadas em resultados obtidos no projecto RISC-KIT (RISC-KIT, 2018), do qual resultaram ferramentas e metodologias para registar eventos com impacto (históricos e recentes).

## **2.2 Avaliação do risco de inundação costeira**

A inundação costeira caracteriza-se pela submersão de uma área habitualmente emersa causada essencialmente pela elevação eustática do nível do mar, assim como o aumento da intensidade da agitação marinha.

A metodologia a adoptar para avaliar o risco de inundação de zonas costeiras terá em conta níveis extremos do mar resultantes de condições de agitação marítima, sobrelevação do nível do mar, marés vivas, subida do nível médio do mar e a determinação das respectivas cotas de inundação.

## **2.3 Avaliação do risco de galgamento costeiro**

O galgamento ocorre quando a agitação atinge as dunas ou estruturas de defesa ultrapassando as respetivas cotas máximas. Para a avaliação do risco de galgamento nas áreas em estudo será utilizado, entre outros, o *software* XBeach para se estimar o espreamento e o eventual galgamento de estruturas e cordões dunares. Os parâmetros de entrada para este modelo terão como base as características das ondas e as características das dunas ou estruturas.

## **2.4 Implementação de modelos hidro-morfodinâmicos**

A modelação hidro-morfodinâmica implicará a criação de modelos regionais de simulação da propagação da agitação marítima. Estes modelos regionais permitirão estabelecer condições de fronteira para os modelos locais, devendo ser adequados à simulação dos processos relevantes para a avaliação dos riscos costeiros. Será também desenvolvida e implementada uma metodologia de *downscaling* dos cenários de alterações climáticas para as localizações específicas a estudar no âmbito do projecto.

Na criação dos modelos regionais, é utilizado o *software* SWAN. Este modelo permite simular a propagação da agitação marítima registada ou estimada por outros modelos até localizações próximas da costa (águas profundas a intermédias), considerando os processos físicos de refacção, difracção e empolamento causados por diversos factores,



nomeadamente: variações batimétricas; correntes; acção do vento; rebentação; e dissipação de energia devido ao atrito do fundo.

Na simulação integrada da propagação da agitação e correntes costeiras, será utilizado o *software* Delft3D. Este programa permite simular processos que envolvem correntes, agitação (com recurso ao modelo SWAN) e transporte sedimentar. Será implementado um modelo regional e modelos locais para as zonas estuarinas.

Os resultados dos modelos regionais serão o ponto de partida para a utilização do *software* XBeach criando assim modelos locais com uma resolução mais pormenorizada. O modelo XBeach é um modelo determinístico, constituído por vários submodelos para a análise dos processos costeiros de propagação de ondas, incluindo ondas infragravíticas e de grupos de ondas gravíticas (desde profundidades intermédias até à praia), espraçamento, erosão e galgamento de dunas, movimentos de massa dunares, transporte sedimentar e evolução do fundo.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

A zona costeira, objecto do presente trabalho, situa-se na região Noroeste de Portugal, compreendendo geograficamente os distritos de Viana do Castelo, Braga, Porto e o norte do distrito de Aveiro (Figura 2). Este espaço do litoral confronta, a norte com Espanha e a sul com a região do Centro de Portugal.

Foram seleccionados para a elaboração de uma análise mais detalhada dos riscos dois locais piloto, os estuários dos rios Minho e Lima.



**Figura 2.** Localização da área de estudo



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

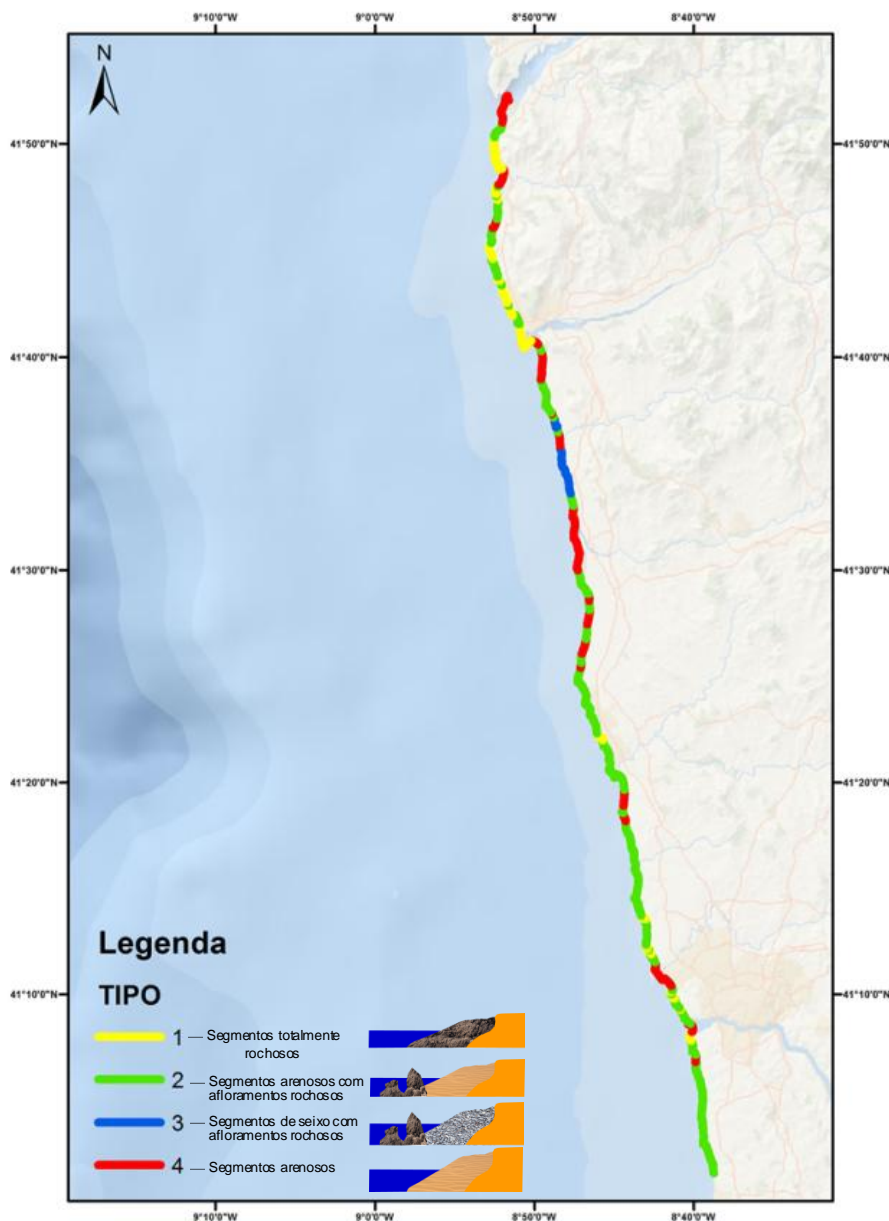
## **4. RESULTADOS PRELIMINARES**

### **4.1 Divisão primária da costa**

Para se proceder à análise dos riscos, dividiu-se o trecho costeiro em estudo de acordo com as tipologias geomorfológicas identificadas. Especial importância foi dada aos indicadores de mudança observáveis nos segmentos de costa em estudo, possibilitando o seu seccionamento em segmentos de características homogêneas e considerando as capacidades dos modelos morfodinâmicos a aplicar. Foram considerados, entre outros, os seguintes elementos: (i) segmentos totalmente rochosos; (ii) presença de afloramentos rochosos; (iii) segmentos arenosos; (iv) praias de seixos; (v) existência de duna frontal; (vi) presença de edificado; (vii) presença de obras de defesa; (viii) presença de fozes de linhas de água; e (ix) presença de infraestruturas nas proximidades.

Todos estes sub-trechos costeiros foram classificados em quatro grandes tipos: Tipo 1 – Trechos compostos por segmentos totalmente rochosos; Tipo 2 – Trechos arenosos com presença de afloramentos rochosos; Tipo 3 – Trechos compostos por praias de seixo com presença de afloramentos rochosos e Tipo 4 – Trechos arenosos.

Na Figura 3 apresenta-se a divisão primária da faixa costeira e os tipos de praia considerados.



**Figura 3.** Divisão da faixa costeira

## 4.2 Propagação da agitação do largo para a costa

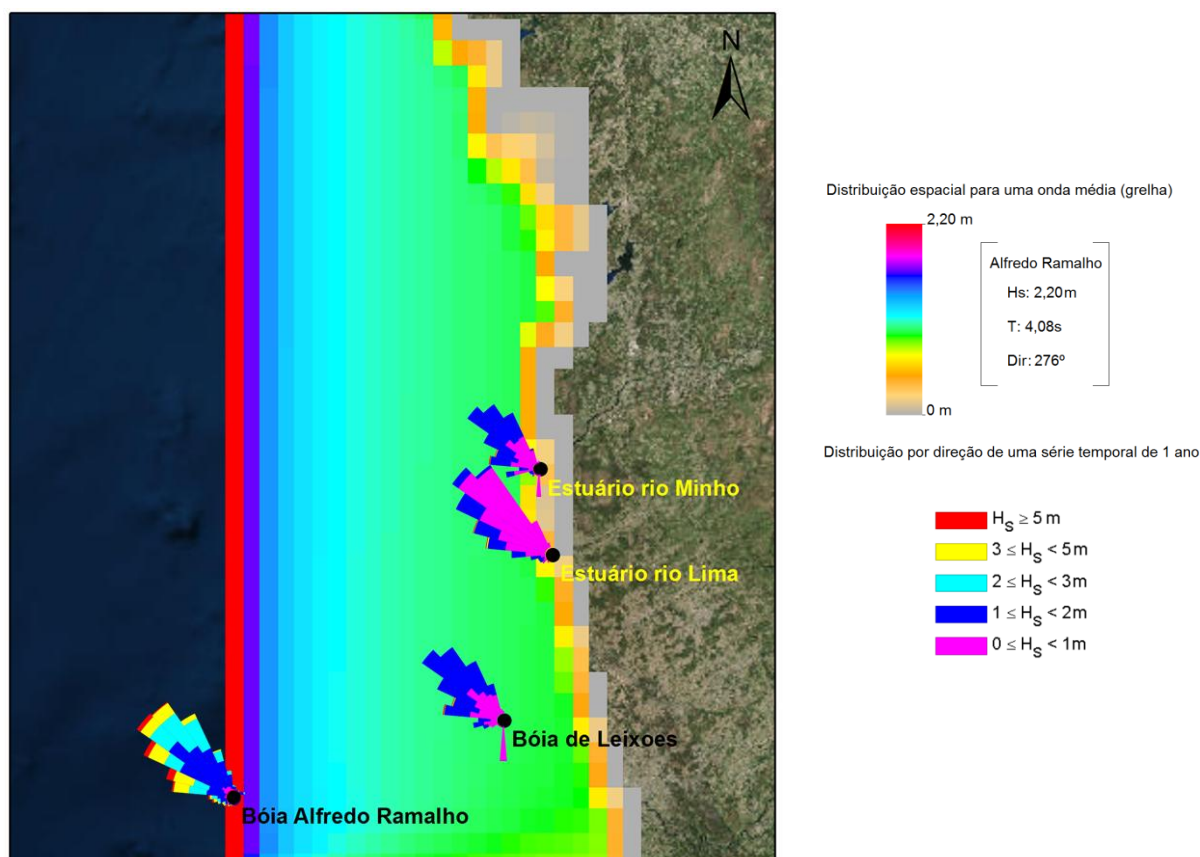
A modelação numérica foi aplicada para simular, à escala regional, a propagação da agitação marítima, utilizando como condições de fronteira os dados disponíveis da bóia ondógrafo Alfredo Ramalho (localizada 41° 08.910'N, 09° 34.906'W).

Este modelo regional permite simular a propagação das ondas desde águas profundas até à costa e caracterizar o regime de agitação ao longo do trecho costeiro em estudo. A título ilustrativo apresentam-se resultados da simulação baseada numa série de dados de



agitação compreendendo um período de um ano. Utilizou-se uma grelha de resolução 0,05° e a batimetria General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO, 2018).

Obtiveram-se valores para a distribuição da direcção e da altura de onda significativa ao longo do ano simulado para três localizações específicas: (i) Foz do Rio Minho; (ii) Foz do rio Lima e (iii) bóia ondógrafo de Leixões (Figura 4). Apresenta-se também, para a bóia Alfredo Ramalho, a distribuição da direcção da altura significativa que serviu como condição de fronteira para esta simulação.



**Figura 4.** Distribuição da altura significativa e direcções da agitação no local de estudo obtidas a partir dos resultados do modelo.

## 5. CONCLUSÃO

As alterações climáticas constituem uma ameaça com potenciais impactos significativos nos actuais padrões climatológicos, com repercussão na ocorrência de variados fenómenos, entre os quais se pode distinguir o aumento do nível médio da água do mar. Este fenómeno, com implicações nas condições de propagação da agitação marítima e na morfologia de zonas costeiras, pode aumentar a vulnerabilidade destas regiões que se revelam de grande importância socioeconómica, como é o caso da região Norte de Portugal e Galiza.



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

O projecto MarRISK tem como objectivo consolidar conhecimento sobre os processos costeiros de modo a contribuir para aumentar condições de resiliência e de suporte a um desenvolvimento sustentável na região Norte de Portugal-Galiza.

No presente trabalho, apresentaram-se os objectivos e as metodologias aplicadas no âmbito do projecto para a avaliação de três tipos de riscos costeiros: erosão, galgamento e inundação. Apresentaram-se ainda resultados preliminares das tipologias de costa que serão utilizadas na avaliação destes riscos costeiros, tendo sido identificados quatro tipos principais de segmentos costeiros, e das simulações com o modelo regional de propagação da agitação.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem o financiamento do Programa Interreg V-A Espanha-Portugal (POCTEP), projeto 0262\_MarRISK\_1\_E.

## **6. REFERÊNCIAS**

Delft3D (2018) Deltares. <http://oss.deltares.nl/web/delft3d/manuals> Acedido em Janeiro de 2018.

GEBCO (2018) General Bathymetric Chart of the Oceans. <http://www.gebco.net/> Acedido em Janeiro de 2018

Granja H.; Pinho J. L.; Mendes J. (2014) – A multi-criteria approach for erosion risk assessment using a new concept of spatial unit analysis, wave model and high resolution DEMs. In: Charles, J.; Finkl, W., Makowski, C. (eds.), Advances in Coastal and Marine Resources: Remote Sensing and Modeling. Coastal Research Library, Springer, USA. ISBN: 978-3319063256.

Risc-Kit (2018) Multi-Criteria Analysis Guide. <http://www.risckit.eu/> Acedido em Janeiro de 2018.

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 Janeiro de 2018.

XBeach (2018) Deltares. <http://xbeach.readthedocs.io/en/latest/> Acedido em Janeiro de 2018.