

## Plataforma integrada WebSIG para apoio à gestão da emergência em eventos de inundação em estuários

A. Oliveira <sup>(1)</sup>, J. Rogeiro <sup>(1)</sup>, J.L. Gomes <sup>(2)</sup>, P. Pinto <sup>(2)</sup>, A. B. Fortunato <sup>(3)</sup>, P. Freire <sup>(3)</sup>, R. T. Costa <sup>(3)</sup>, L. Sá <sup>(4)</sup>, R. Pablo <sup>(5)</sup> e A. Mendes <sup>(1)</sup>

- (1) Grupo de Tecnologias da Informação em Água e Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, aoliveira@lnec.pt.  
(2) Previamente no Laboratório Nacional de Engenharia Civil.  
(3) Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.  
(4) Autoridade Nacional de Proteção Civil.  
(5) Câmara Municipal do Seixal.

**Resumo:** A inundação das margens estuarinas deve-se normalmente a condições meteo-oceanográficas extremas, nomeadamente níveis elevados de maré, grandes descargas fluviais e tempestades marítimas. Muitas cidades localizam-se em margens estuarinas, estando assim vulneráveis a inundações, problema que é agravado pelas alterações climáticas. Para apoiar a gestão do risco e da resposta a estes eventos, desenvolveu-se uma plataforma WebGIS inovadora, e aplicou-se ao estuário do Tejo. Esta plataforma disponibiliza alertas baseados em previsões em tempo real dos processos relevantes, devidamente aferidas com dados em tempo real. A plataforma foi concebida para os agentes de proteção civil, desde os operacionais até às estruturas de gestão. Providencia em particular: 1) diferentes níveis de detalhe e modos de representação da inundação estuarina; 2) resultados específicos das previsões em pontos críticos da margem; 3) diferentes boletins de alerta para escalas espaciais distintas; e 4) acesso rápido e georreferenciado à informação através de uma única interface. Esta comunicação apresenta esta plataforma e a sua aplicação ao estuário do Tejo.

**Palavras-chave:** Inundação, Sistema de alerta, Previsão em tempo real, Plataforma WebGIS.

### 1. INTRODUÇÃO

Muitas zonas costeiras têm um risco elevado de inundação e galgamento. Estão localizadas frequentemente em cotas altimétricas baixas, expostas à ação do mar, nomeadamente às variações do nível da água devido às marés, sobre-elevações de origem meteorológica e agitação marítima. São ainda em geral zonas densamente povoadas, particularmente vulneráveis a eventos extremos. Várias inundações recentes com consequências catastróficas, como o furacão Katrina em 2005 e a tempestade Xynthia em 2010, têm motivado o desenvolvimento de instrumentos que permitam prever estes eventos extremos com antecedência, por forma a acionar mecanismos de proteção de pessoas e bens e reduzir as suas consequências. Por exemplo, a tempestade Hércules em 2014 causou prejuízos estimados em 21 milhões de euros em Portugal (jornal Expresso, 31/1/2014).

Os sistemas de previsão em tempo real produzem previsões a escalas de tempo curtas (dias), através da integração de modelos numéricos e dados de campo. São hoje ferramentas habituais de suporte à gestão costeira e portuária para análise de grandezas como a agitação marítima, e os níveis e velocidades da água. A necessidade de prever de forma quantitativa os eventos extremos motivou o desenvolvimento

pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) de um sistema de previsão de níveis do mar extremos na costa Portuguesa. Estas previsões são feitas a escalas regionais, que excedem o território nacional. Os resultados são usados para forçar modelos locais, de alta resolução, que permitem prever os níveis junto à costa ou no interior de estuários.

O desenvolvimento recente dos sistemas de informação tem conduzido a uma mudança de paradigma na previsão, deteção e alerta de eventos de risco. Estas tarefas são crescentemente asseguradas por sistemas automáticos, suportados por interfaces *web* que permitem aceder a toda a informação relevante para a gestão do risco e da emergência. Estas interfaces oferecem ainda a possibilidade de interatividade com o utilizador (p. ex., pesquisa de resultados da previsão em locais escolhidos pelo utilizador, simulações a pedido ou carregamento de informação dos agentes de proteção civil no terreno para análise integrada dos eventos). Esta comunicação tem por objetivo apresentar uma plataforma WebGIS inovadora para apoio à gestão do risco e à resposta à emergência de inundação, que integra produtos de previsão em tempo real e alerta, assim como os resultados de uma análise de risco detalhada, tendo como caso de aplicação o estuário do Tejo.

## 2. SISTEMA OPERACIONAL DO LNEC (WIFF): DESCRIÇÃO E APLICAÇÃO

### 2.1. O sistema WIFF

O sistema de previsão em tempo real utilizado está integrado na plataforma WIFF – *Water Information Forecast Framework* (Oliveira et al., 2014), uma plataforma genérica, adaptável a qualquer localização geográfica desenvolvida no LNEC para aplicações oceânicas, costeiras e suas interfaces urbanas. Integra um conjunto de modelos numéricos que corre diariamente em ambientes de elevada performance (Oliveira et al., 2015). A plataforma WIFF foi desenvolvida para simular processos físicos, tendo sido alargada à qualidade da água.

A qualidade e a robustez das previsões são essenciais para a fiabilidade destes sistemas. Cada aplicação da WIFF é validada automaticamente por comparação com os dados disponíveis *online* em tempo real, permitindo aos utilizadores aferirem de forma independente a qualidade dos resultados. A disponibilidade atempada das previsões é outro requisito dos sistemas de previsão. O LNEC opera as várias aplicações do sistema de previsão de forma redundante utilizando várias estações de trabalho e nós do *cluster* MEDUSA (integrado na Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída – INCD, Oliveira et al., 2015). As interrupções do serviço são minoradas através do controle automático da adequação e qualidade dos forçamentos dos modelos.

### 2.2. Aplicação à inundaçã oceânica e estuarina

A aplicação da WIFF apresentada prevê os níveis extremos na costa Portuguesa e no estuário do Tejo (Figura 1). Diariamente, este sistema simula a agitação marítima e os níveis do mar devidos à maré, vento e pressão atmosférica para 48 horas, a escalas regionais. Os resultados são usados para forçar o modelo local, de alta resolução, dos níveis no estuário do Tejo, através da simulação acoplada da circulação e da agitação marítima.

Para a previsão regional da agitação, os campos de ondas são gerados com o modelo espectral de ondas de terceira geração WAVEWATCH III (Tolman, 2009). O domínio utilizado cobre o Atlântico Norte, com uma resolução de 0.5°, seguida de malha encaixada com uma resolução de 0.05° para a plataforma continental Portuguesa. O espectro de ondas é dividido em 24 direções e 25 frequências, (Dodet et al., 2010). As simulações são forçadas com campos de vento provenientes das previsões do Global Forecast System (GFS). Esta aplicação está operacional desde 2011, produzindo diariamente previsões que são comparadas de forma automática com os dados *online* de agitação marítima das boias da costa Portuguesa: Leixões, Lisboa, Sines e Faro. A precisão destas previsões foi avaliada usando o portfolio do LNEC de vários anos de previsões em tempo real para a costa portuguesa da agitação marítima, de modo a aferir a sua qualidade, por

comparação com os dados nesse período. Esta análise foi feita através de erros quadráticos médios (EQM) para um período entre 2011 e 2015. Os resultados mostram o excelente desempenho do modelo na costa oeste de Portugal (Leixões, Lisboa e Sines), onde os erros são da ordem de grandeza de modelos de *hindcast* (Hs da ordem dos 30 cm, Dodet et al., 2012). Na costa sul os erros são mais relevantes e, em particular, as alturas significativas das ondas são frequentemente subestimadas devido à baixa resolução do campo de ventos. Mais detalhes são dados em Fortunato et al. (2015).

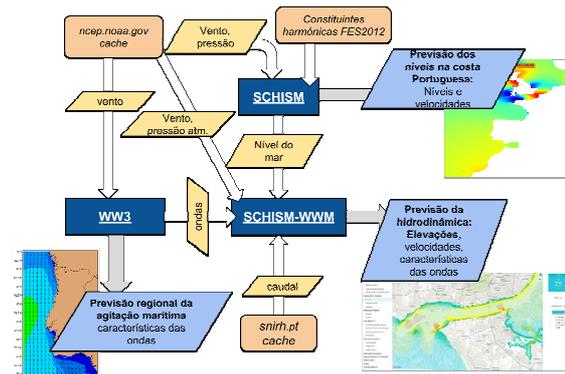


Fig. 1. Workflow operacional do sistema de previsão do projeto MOLINES (adaptado de Fortunato et al., 2015).

As simulações regionais do nível do mar são realizadas com o sistema de modelação SCHISM (Zhang et al., 2016). É um sistema de código aberto totalmente paralelizado para a simulação tridimensional baroclínica a escalas que vão do rio ao oceano. Utiliza malhas não estruturadas, métodos semi-implícitos de elementos e volumes finitos combinados com algoritmos Eulerianos-Lagrangianos para resolver as equações de águas pouco profundas. O SCHISM foi aplicado numa parte significativa do Atlântico Nordeste, forçado nas fronteiras pelo modelo global de maré FES2012 (<ftp.legos.obs-mip.fr>) e pelo efeito do barómetro inverso, e pelo potencial de maré, pela pressão atmosférica e pelo vento no interior do domínio. A malha é bastante fina na costa Portuguesa, com valores médios de 250 m. Este modelo está operacional desde março de 2015, tendo as suas previsões de março a maio de 2015 sido comparadas com medições em vários marégrafos em Portugal, Espanha e França (plataforma EMODNET - <http://www.emodnet-physics.eu/Portal>). Os EQM são da ordem de 5 cm ao longo da costa portuguesa. Fortunato et al. (2015) apresenta mais detalhes desta análise.

A hidrodinâmica no estuário do Tejo é simulada com o modelo SCHISM-WWMII (Roland et al., 2012) que faz o acoplamento entre o modelo de circulação SCHISM e o modelo espectral de ondas WWM. O modelo de circulação fornece os níveis e as velocidades, e recebe os gradientes das tensões de radiação. O domínio de cálculo estende-se desde a

zona costeira até Santarém. Entre Cacilhas e o Montijo incluem-se também todas as zonas marginais potencialmente inundáveis, definidas pela cota altimétrica dos 5 m. A resolução espacial da malha varia entre 1 km e 10 a 30 m junto às margens. Efetuaram-se simulações de *hindcast* para 1972, com forçamento de maré e caudal fluvial, com EQM da ordem de 4-16 cm em todo o estuário. O modelo em modo de previsão foi validado com níveis numa estação de monitorização instalada na baía do Seixal, conduzindo a um EQM de 14 cm.

### 3. PLATAFORMA INTEGRADA WEBSIG PARA APOIO À EMERGÊNCIA EM EVENTOS DE INUNDAÇÃO

Apresenta-se nesta comunicação a plataforma WebGIS desenvolvida no projeto MOLINES para apoio à gestão de inundação e de emergência no estuário do Tejo, tendo como casos de estudo detalhados a baía do Seixal (vertente inundação estuarina) e a zona do Dafundo (vertente inundação urbana). Esta plataforma permite aceder à informação de inundação em qualquer dispositivo móvel ou fixo.

A plataforma está organizada ao longo de 4 eixos principais: 1) informação de alerta, disponibilizada de forma detalhada ou agregada a nível geográfico; 2) previsões em tempo real da inundação estuarina, com séries temporais em sensores virtuais e produtos SIG das variáveis níveis, velocidades e altura significativa da onda, assim como a validação em tempo real com os dados *online* disponíveis; 3) previsões em tempo real da inundação urbana, suportados por uma ampla base de dados de eventos de inundação urbanos que têm simultaneamente em conta o impacto da precipitação e os níveis no estuário; e 4) produtos de análise de risco, suportados por uma análise de perigosidade efetuada com os mesmos instrumentos de modelação usados na previsão em tempo real e uma análise detalhada de vulnerabilidade territorial. Todos os produtos aqui disponibilizados são descritos em detalhe em Fortunato *et al.*, 2015, Freire *et al.*, 2015 e Tavares *et al.*, 2015. Esta plataforma permite ainda aceder *online* a uma listagem e mapeamento de fotos cujo carregamento na plataforma é feito através de uma aplicação para telemóveis desenvolvida no projeto.

Esta plataforma é baseada na infraestrutura WebGIS do sistema WIFF (Oliveira *et al.*, 2014), tendo sido adaptada para cumprir os seguintes requisitos: a) disponibilizar acesso rápido aos resultados de monitorização, previsão e análise de risco; b) permitir o acesso em qualquer dispositivo e localização, desde que tenha ligação à internet; c) ser modular e flexível, para poder ser facilmente aplicada em outros sistemas costeiros e urbanos. Pretende-se ainda contribuir para uma mobilização coordenada e rápida de agentes de emergência e outras entidades durante eventos de inundação, permitindo a partilha de informação entre agentes no terreno e os centros de coordenação de emergência.

A plataforma WebGIS é composta pelo *back-end*, que executa as simulações e trata os dados e as previsões; e o *front-end*, que disponibiliza a informação do *back-end* e interage com o utilizador. O *back-end* utiliza CakePHP, uma base de dados PostgreSQL com PostGIS, várias instâncias de Geoserver e *scripts* Perl e Python. O Geoserver, usado para partilha de informação geográfica, gere e disponibiliza imagens georreferenciadas em formatos normalizados, armazenadas em base de dados PostgreSQL/PostGIS e resultados dos modelos de previsão em formato *shapefile*. O *front-end* consiste numa aplicação web que permite ao utilizador visualizar e interagir com a interface. Para o uso em vários dispositivos, como *tablets* e *smartphones*, usam-se tecnologias web recentes com menor necessidade de processamento: HTML5 e CSS3, AngularJS, Google Polymer e OpenLayers.

O sistema de alerta foi concebido para a Baía do Seixal (Fig. 2), usando pontos críticos obtidos da análise de exposição e impactos (Freire *et al.*, 2015) e identificados pelos serviços de proteção civil da Câmara Municipal do Seixal. Em cada ponto é calculada diariamente a previsão das alturas de água, com base nas previsões do modelo. Quando estas alturas ultrapassam o valor limite de inundação, emite-se um boletim de alerta, disponível através da plataforma e enviado às autoridades competentes por *email* (Fig. 2). O nível de alerta depende das alturas da água em cada ponto crítico. O limite de inundação inclui uma margem de erro para contabilizar a incerteza dos forçamentos, no modelo e na topografia. Na plataforma ficam ainda disponíveis as séries temporais que estão na base do alerta (Fig. 3). Este sistema foi validado operacionalmente com o evento de inundação em 8 de maio de 2016, onde a Curva da Mundet foi alagada (Fig. 4), tal como identificado nas previsões.

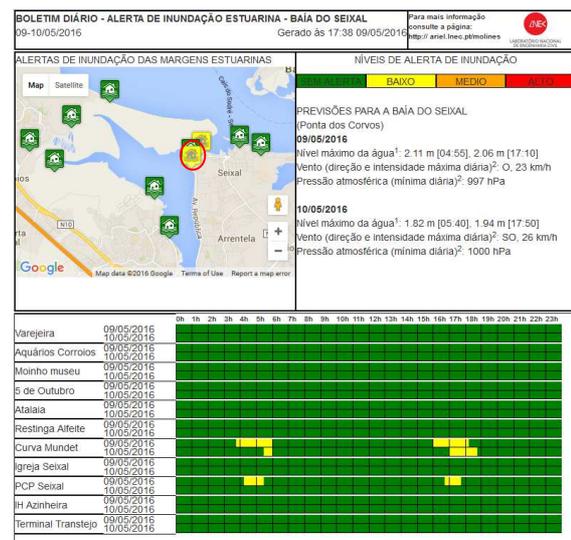


Fig. 2. Boletim de alerta para a Baía do Seixal (dias 9-10/5). Destacou-se o círculo vermelho o local Curva da Mundet

O conceito do alerta do Seixal foi alargado à totalidade do estuário do Tejo e à costa Portuguesa,

tirando partido das previsões de níveis e agitação marítima efetuadas. Exemplificam-se estes produtos para o boletim da costa Portuguesa (em testes, Fig. 5), suportado por previsões em três sensores virtuais na zona ocidental Norte, Centro e Sul de Portugal.

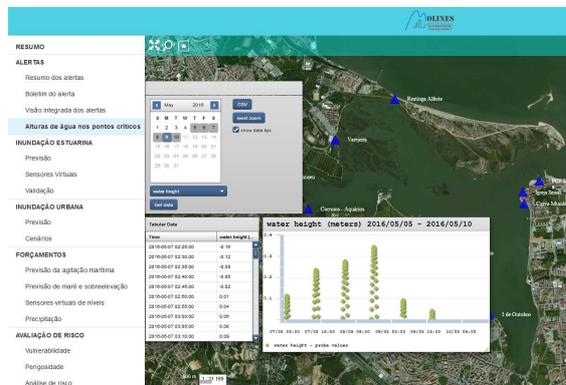


Fig. 3. Série temporal das alturas da água na Curva da Mundet, identificando o período e nível da inundação (interface WebGIS).

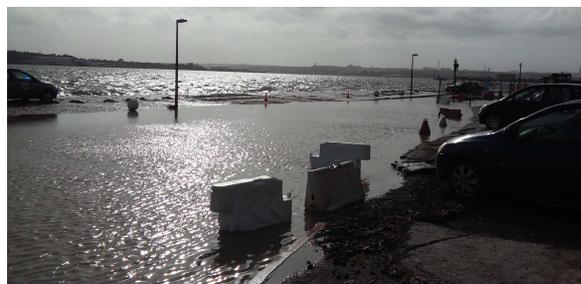


Fig. 4. Foto de dia 8 de maio às 17:00 na zona da curva da Mundet no Seixal (gentilmente cedida pelo Município do Seixal).

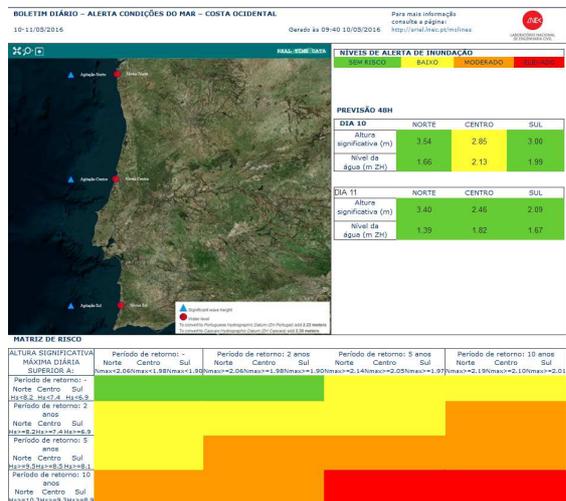


Fig. 5. Boletim de alerta para a costa ocidental Portuguesa

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No âmbito do projeto MOLINES foi desenvolvido um sistema de apoio à decisão para gestão de inundações, aplicável desde o planeamento até à resposta à emergência. Este sistema integra uma plataforma WebGIS que constitui um ponto único de acesso de toda a informação relevante, desde a análise de risco, suportada por produtos de perigosidade e vulnerabilidade de alta resolução, até à previsão em tempo real de eventos, baseada num

sistema de previsão em tempo real de alta-resolução que simula todos os processos relevantes desde o oceano até à escala portuária. A plataforma WebGIS utiliza um conjunto de tecnologias estado-da-arte para agilizar o acesso à informação pelas entidades gestoras através de dispositivos fixos e móveis.

#### Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito dos projetos MOLINES (PTDC/AAG-MAA/2811/2012) e Roteiro de Infraestruturas INCD, financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT). O 7º autor é financiado pelo programa doutoral H2Doc.

#### REFERÊNCIAS

Dodet G., Bertin X., Taborda R. (2010). Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades. *Ocean Modelling*, 31 (3-4), 120-131.

Fortunato, A. B., Costa, R. T., Li, K., Rogeiro, J., Gomes, J., Rilo, A., Freire, P., Oliveira, A., 2015. Desenvolvimento de um sistema operacional de previsão dos níveis extremos na costa Portuguesa. VIII CPGZC, Univ. de Aveiro, 15p.

Freire, P. M.S.; Tavares, A.O.; Fortunato, A.B.; Sá, L.; Oliveira, A.; Rilo, A.; Santos, P.P., 2015. Modelação da inundação em estuários. Da avaliação da perigosidade à gestão crítica. VIII CPGZC, Univ. de Aveiro, 15 p.

Oliveira A., Jesus G., Gomes J.L., Rogeiro J., Azevedo A., Rodrigues M., Fortunato A.B., Dias J.M., Tomás L.M., Vaz L., Oliveira E.R., Alves F.L., Boer S.D. (2014). An interactive WebGIS observatory platform for enhanced support of integrated coastal management, *Journal of Coastal Research*, S.I. 70: 507 - 512.

Oliveira A., Rogeiro J., Azevedo A., Fortunato A.B., Tavares da Costa R., Rodrigues M., Li K., Martins J.P., David M., Pina J., Gomes J. (2015). Sistema multi-escala de previsão em tempo real da dinâmica estuarina e costeira: desafios para a sua operacionalização em ambiente Cloud e de elevada performance, VIII CPGZC, 15 p.

Roland A., Zhang Y.J., Wang H.V., Meng Y., Teng Y.-C., Maderich V., Brovchenko I., Dutour-Sikiric M., Zanke U. (2012). A fully coupled 3D wave-current interaction model on unstructured grids, *J. Geophysical Research*, 117, C00J33.

Tavares, Alexandre O; Santos, Pedro P.; Freire, Paula; Fortunato, A.B; Rilo, A.; Sa, L. 2015. Flooding hazard in the Tagus estuarine area: the challenge of scale in vulnerability assessments, *Environmental Sc. & Policy* 51, 1: 238 - 255.

Zhang, Y., Stanev, E.V. e S. Grashorn (2016) Unstructured-grid model for the North Sea and Baltic Sea: validation against observations, *Ocean Modelling*, 97, 91-108.