

## Desenvolvimentos recentes do HIDRALERTA - sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias

C.Fortes<sup>(1)</sup>, J. Santos<sup>(2)</sup>, M.Reis<sup>(1)</sup>, P. Poseiro<sup>(1)</sup>, R. Capitão<sup>(1)</sup>, L. Pinheiro<sup>(1)</sup>, J. Craveiro<sup>(1)</sup>, A. Sabino<sup>(3)</sup>, A. Rodrigues<sup>(3)</sup>, J. Ferreira<sup>(4)</sup>, P. Raposeiro<sup>(4)</sup>, S. Silva<sup>(4)</sup>, E. Lopes<sup>(4)</sup>, C. Silva<sup>(4)</sup>, A. Simões<sup>(5)</sup>, E. Azevedo<sup>(6)</sup> e M. Rodrigues<sup>(6,7)</sup>

- (1) LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, jfortes@lneec.pt  
 (2) ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa  
 (3) CITI, Departamento de Informática, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNL  
 (4) Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNL, CENSE – Center for Environmental and Sustainability Research  
 (5) Universidade dos Açores, LAMTEC  
 (6) Universidade dos Açores, Centro de Estudos do Clima, Meteorologia e Mudanças Globais  
 (7) Azorina – Sociedade de Gestão Ambiental e Conservação da Natureza, SA

**Resumo:** Nesta comunicação descrevem-se os desenvolvimentos recentes do sistema HIDRALERTA, de previsão, alerta e avaliação de risco associado ao galgamento e inundação em zonas costeiras e portuárias. O sistema tem como ideia-base a utilização de previsões da agitação marítima para avaliar os efeitos dos galgamentos/inundações, recorrendo à modelação numérica, redes neuronais e/ou fórmulas empíricas. O sistema permite: a avaliação, em tempo real, de situações de emergência e a consequente emissão de alertas às entidades competentes; e a avaliação do risco, produzindo-se mapas de risco para apoio ao processo de tomada de decisão. Trata-se de um sistema modular que está a ser desenvolvido em linguagem *Python* e implementado numa plataforma WebGIS. Neste momento, estão em implementação dois protótipos deste sistema: o porto da Praia da Vitória e a praia de S. João da Caparica.

**Palavras-chave:** HIDRALERTA, Alerta, Risco, Galgamentos/inundações, Praia da Vitória, Costa da Caparica

### 1. INTRODUÇÃO

Encontra-se em desenvolvimento, desde 2012, o sistema HIDRALERTA (Neves *et al.*, 2012 e Poseiro *et al.*, 2013a, Fortes *et al.*, 2013). Trata-se de um sistema de previsão, alerta e avaliação de risco associado ao galgamento e inundação em zonas costeiras e portuárias, a partir de medições/previsões da agitação marítima ao largo. Estão a ser construídos dois protótipos: porto da Praia da Vitória e praia de S. João da Caparica.

A ideia base do sistema é a utilização de previsões/medições de agitação marítima ao largo para a determinação dos efeitos em termos de valores de galgamento e/ou de cotas de inundação em áreas específicas, recorrendo a modelos numéricos, redes neuronais e fórmulas empíricas. A comparação destes valores com valores máximos pré-estabelecidos permite: i) a avaliação, em tempo real, de situações de emergência e a emissão de alertas às entidades competentes sempre que se preveja estar em causa a segurança de pessoas, bens ou atividades desenvolvidas; e ii) a construção de mapas de risco, considerando séries temporais longas de previsões da agitação marítima ou cenários pré-definidos associados às mudanças climáticas e/ou eventos extremos.

Este sistema é uma ferramenta de apoio ao planeamento e gestão de zonas costeiras e portuárias. Com efeito, este contribui para a identificação de situações de emergência, o que permite, atempadamente, a adoção por essas entidades de medidas para evitar perdas de vidas e minimizar prejuízos económicos e ambientais. Além disso, a sua componente de gestão a longo prazo permite simular cenários futuros relacionados com as mudanças devidas às alterações climáticas. Saliente-se que as ferramentas desenvolvidas, tradicionalmente,

possibilitavam já o zonamento ponderado de riscos (projetando e localizando tendências de evolução de fatores potencialmente danosos), como ainda experimentado para a zona da Costa da Caparica (Craveiro *et al.*, 2012), mas não permitiam atender a avaliações de emergência em tempo real.

O sistema é constituído por 4 módulos (Fig. 1): I – Características da Agitação Marítima; II – Galgamento/Inundação; III – Avaliação do Risco, e IV - Sistema de Alerta.



Fig. 1. Esquema do sistema HIDRALERTA

O sistema está a ser desenvolvido em linguagem *Python* e implementado numa plataforma *WebGIS*.

No presente trabalho, e no seguimento de Fortes *et al.* 2013, descreve-se sucintamente os módulos do sistema HIDRALERTA e os desenvolvimentos recentes que têm vindo a ser realizados, nomeadamente aos dois casos de aplicação.

### 2. O SISTEMA HIDRALERTA

#### 2.1 Características da agitação marítima

O objetivo deste módulo é a determinação das características da agitação marítima em zonas costeiras e portuárias a partir das respetivas condições ao largo. Estas características podem ser obtidas através de previsões de modelos regionais, até 180 horas, o que constitui a base do sistema de alerta, ou

através da síntese de regimes de agitação marítima locais já existentes, necessários para a avaliação do risco de galgamentos e inundações.

Neste módulo são utilizados vários modelos numéricos, nomeadamente: o modelo de previsão da agitação marítima à escala regional, WaveWatch III (Tolman, 1999); o modelo espectral não linear de geração e propagação de ondas em zonas costeiras, SWAN (Booij *et al.*, 1999); o modelo linear de propagação de ondas em zonas portuárias, DREAMS (Fortes, 2002); e o modelo de Boussinesq BOUSS\_WMH, Pinheiro *et al.* (2011).

Na componente de alerta, o sistema faz diariamente o *download*, a partir do *Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center* (FNMOC), das características da agitação marítima ao largo previstas com o modelo WaveWatch III (180 horas seguintes, com intervalo de 3 horas). Estes valores são transferidos para junto à costa com o modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999) e, no caso de se tratar de zonas portuárias, são ainda aplicados os modelos DREAMS ou BOUSSWMH, consoante haja necessidade de considerar um modelo linear ou não linear, respetivamente. Estes dois últimos modelos consideram o efeito de reflexão no interior das bacias portuárias.

Para a avaliação do risco, em vez de previsões de agitação marítima, o sistema utiliza séries temporais longas estimadas pelo modelo WaveWatch III para o largo, as quais são depois transferidas para a costa, tal como acontece no sistema de alerta, com os modelos SWAN, DREAMS ou BOUSSWMH.

Os desenvolvimentos recentes deste módulo do sistema consistem em:

- a) Automatizar o processo de *download* (Poseiro *et al.*, 2013a) dos dados referentes à agitação marítima, com o modelo de previsão WaveWatch III (FNMOC) e a inclusão do modelo WAM (ECMWF) para o mesmo efeito, das marés, com o modelo WXTide, e dos ventos, fornecidos pelo modelo NAVGEM (FNMOC) e também pelo modelo WAM (ECMWF);
- b) Acoplar os modelos WWIII/WAM, SWAN e DREAMS, e validar cada modelo, bem como o seu acoplamento, através da comparação com medições efetuadas *in situ*. Para esse efeito foi efetuada uma campanha de medição de agitação marítima em 29 e 30 de outubro de 2012 e uma campanha de levantamento de perfis de praia em 29 e 30 de abril de 2014 na zona da Costa de Caparica; c) Automatizar os processos de criação dos *layouts* gerados por cada um dos modelos numéricos, bem como dos ficheiros que indicam os valores obtidos para cada parâmetro em pontos específicos.

Está em curso o desenvolvimento de uma rede neuronal do tipo ARTMAP com lógica Fuzzy (Santos 2013) para determinação de condições de agitação marítima à entrada de portos e no seu interior, que tem uma grande eficiência computacional e que poderá, em certos casos, substituir a utilização dos

modelos numéricos.

## 2.2 Galgamento/inundação

O objetivo deste módulo é a determinação do espraçamento, inundação e galgamentos em áreas costeiras e infraestruturas portuárias. Pretende-se estimar os valores da cota de inundação ou do caudal médio galgado correspondentes a uma dada condição de agitação marítima prevista ou observada utilizando o módulo I do sistema.

Para o cálculo da inundação em zonas costeiras, sem e com estruturas de proteção, utilizam-se fórmulas empíricas da literatura que estimam o espraçamento e/ou o galgamento, Fortes *et al.* (2013). A cota de inundação é obtida pela soma do espraçamento com o nível de maré.

Para o caso de galgamento de zonas com estruturas (portuárias), recorre-se à ferramenta de redes neuronais artificiais NN\_OVERTOPPING2 (Coeveld *et al.*, 2005) que fornece o caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura.

Os desenvolvimentos recentes consistiram na realização de programas em *Fortran* para a implementação das fórmulas empíricas, de modo a realizar-se o acoplamento destas fórmulas e da ferramenta neuronal com os modelos numéricos, bem como a visualização automática dos resultados. A nova rede neuronal do tipo ARTMAP com lógica Fuzzy para o cálculo do galgamento de estruturas marítimas (Santos, 2013) está a ser desenvolvida com o intuito de vir a ser uma alternativa à ferramenta NN\_OVERTOPPING2, sobretudo para pequenos caudais. Foram ainda desenvolvidas novas formulações de espraçamento e galgamento para o caso de estruturas localizadas em zonas de águas pouco profundas ou com o pé da estrutura essencialmente acima do nível de água, Mase *et al.*, 2013, que poderão ser incorporadas no sistema.

## 2.3 Avaliação do risco

A avaliação do risco de galgamento e inundação de zonas costeiras e portuárias é baseada na determinação do grau de risco, resultante do produto do grau de probabilidade associado à ocorrência de galgamento/inundação acima de um certo limiar pré-estabelecido pelo grau de consequências associado aos prejuízos desse acontecimento.

O estabelecimento do limiar para o galgamento/inundação resulta da avaliação da natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada pela estrutura e do impacto do galgamento/inundação na segurança de pessoas e infraestruturas. Tal avaliação passa pela obtenção do máximo de informação da zona em estudo, no que diz respeito à distribuição espacial das pessoas, edifícios, infraestruturas, vias de comunicação, vegetação, modelo digital de superfície, etc. Tem sido realizado um trabalho importante para a obtenção da maior informação possível dos locais de estudo. Os limites de caudal de galgamento são definidos com base nas

diretivas existentes (Pullen *et al.*, 2007), que levam em conta a natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada pela estrutura, o perfil da estrutura galgada e a necessidade de garantir a segurança de pessoas e infraestruturas localizadas nessa zona.

As consequências dos galgamentos/inundações têm sido estimadas com uma metodologia que permite avaliar de forma quantitativa e qualitativa o grau de consequências de acontecimentos perigosos na zona em estudo (Raposeiro *et al.*, 2010). A determinação da perigosidade, da vulnerabilidade e do risco na Costa da Caparica (litoral arenoso com e sem estruturas) tem sido efetuado com recurso a uma base de dados georreferenciada e à análise multicritério. Na Praia da Vitória foi implementada uma metodologia (Poseiro *et al.*, 2013b) que permite analisar espacialmente, classificar e atribuir pesos a cada uma das vertentes que caracterizam uma dada zona de estudo, através da aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) que consiste no desenvolvimento de um índice espacial de pressão antrópica (Antunes, 2012).

#### 2.4 Sistema de alerta

O objetivo deste módulo é a identificação, em tempo real, das situações de emergência para uma determinada área de interesse e o envio automático de mensagens de alerta para as autoridades responsáveis. Cada um destes passos corresponde a uma componente do módulo.

Na componente de identificação de situações de emergência, parte-se do princípio que estas ocorrem sempre que o limiar de galgamento/inundação, em cada secção das estruturas/praias analisadas, é ultrapassado. Os resultados desta componente são gráficos, mapas e relatórios que são depois transmitidos à componente de interação com o utilizador para que este proceda à avaliação da situação.

A componente de interação com o utilizador é materializada numa aplicação *web*, na qual todo o sistema de alerta está parametrizado (Sabino *et al.*, 2014). A aplicação está desenhada para ser utilizada em *browsers* tradicionais e móveis, adequando a informação às características do dispositivo cliente.

Os desenvolvimentos recentes consistiram na construção, em *Python*, de um conjunto de *scripts* que acoplam todos os modelos e automatizam todos os procedimentos para o funcionamento do sistema. Por outro lado, a parte *web* está a ser concebida com recurso a ferramentas de domínio público: a plataforma de desenvolvimento *web Django (Python)*, para o componente de interação; e o sistema de gestão de base de dados *PostgreSQL* (com a extensão espacial *PostGIS*), permitindo oferecer visualizações através de mapas. O sistema de alerta inclui ainda uma base de dados intermédia que relaciona as localizações de áreas de risco e sensores com os dados coletados pelos sensores, os resultantes de transferências de dados e os resultados de processos de avaliação de galgamentos/inundações.

### 3. APLICAÇÕES DO SISTEMA

#### 3.1 Porto da Praia da Vitória

O porto de Praia da Vitória situa-se na costa Este da ilha Terceira, no arquipélago dos Açores (Figura 2). Os dois molhes que protegem o porto definem uma bacia portuária com cerca de 1 km x 2 km.

Para este porto, o sistema foi aplicado quer na sua vertente de avaliação de risco (módulos I, II e III) de galgamento, ao longo da baía da Praia da Vitória, com a construção de mapas de risco, quer na sua vertente de sistema de alerta (módulos I, II e IV). A título de exemplo, apresentam-se na Fig 2 os resultados do sistema de alerta nos diferentes módulos I, II e IV e na Fig. 3 os resultados do módulo III), que inclui o mapa de consequências com a metodologia AHP.

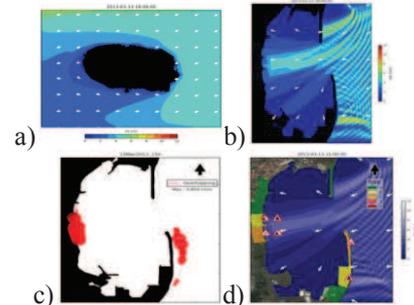


Fig. 2. Exemplo dos Layouts gerados pelo sistema de alerta por a) Módulo I – SWAN; b) Módulo I – DREAMS; c) Módulo II – NN\_OVERTOPPING2; d) Módulo IV – Mapa de Alerta

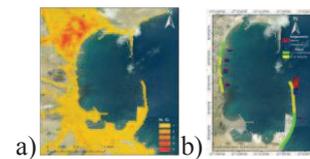


Fig. 3. Exemplo dos Layouts do sistema de avaliação do risco: a) Mapa de vulnerabilidade (consequências); b) Mapa de risco

#### 3.2 Zona da Costa de Caparica

A praia de São João da Caparica localiza-se no extremo norte da Costa da Caparica, município de Almada. Esta praia em estudo tem um comprimento de 1380 m e está confinada entre dois esporões. Neste ano de 2014, a Costa de Caparica foi alvo de forte agitação marítima que causou grandes danos nas estruturas e nas praias, para além de ter posto pessoas em risco.

De seguida, ilustra-se, a título de exemplo, a aplicação do sistema de alerta durante o dia 2014-02-02, altura em que ocorreu uma violenta tempestade que causou inundações significativas na Costa de Caparica. Na Figura 4 está representado um exemplo dos *Layouts* obtidos pelo módulo I (SWAN), para aquele dia às 0 h e os correspondentes níveis de alerta, módulo IV.

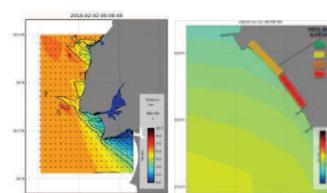


Fig. 4. Layouts obtidos pelos módulos I e IV do sistema HIDRALERTA para as 0h do dia 02/02/2014

#### 4. CONCLUSÃO

Esta comunicação descreve os recentes desenvolvimentos do sistema HIDRALERTA, implementado em ambiente *WebSIGs*. De entre os resultados obtidos destaca-se a implementação do protótipo da componente de alerta do sistema no porto da Praia da Vitória e na zona da Costa de Caparica e a implementação do protótipo da componente de avaliação do risco no caso do porto da Praia da Vitória. Note-se que a metodologia está a ser aplicada a outros locais: Ponta Delgada (ilha de São Miguel, Açores), Sines e Praia da Galé.

Prevê-se que o trabalho futuro envolva as seguintes atividades: a) a substituição de DREAMS pelo BOUSS\_WMh; b) a realização de ensaios em modelo físico de estruturas-tipo para medição do espraiamento e caudais galgados, para serem utilizados na avaliação do desempenho de ferramentas empíricas, neuronais ou numéricas; c) a utilização do modelo SBEACH em praias; c) o aperfeiçoamento da metodologia de construção de mapas de consequências; d) a criação de mapas que ilustrem a distribuição espacial dos volumes galgados, e que permitam ser cruzados/complementados com mapas de consequências, de modo a obter-se mapas de risco de ocorrência de galgamentos/inundações mais completos; e) a definição de níveis (*thresholds*) de acionamento de alertas de forma mais informada e específica dos locais de estudo; f) a aplicação do sistema a outros portos portugueses; g) a extensão deste sistema à navegação.

#### AGRADECIMENTOS

Agradece-se à FCT o financiamento do projeto HIDRALERTA, ref. PTDC/AAC-AMB/120702/2010. Agradece-se também o apoio dos Portos dos Açores, da Câmara Municipal de Praia da Vitória, da APL (Teresa Sá Pereira), à FCUL (C. Antunes), do Sr. Carlos Manuel do Restaurante Pé Nú e de P. Neves, T. Rocha, J. Antunes do Carmo e F. Taveira Pinto.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antunes, Ó. 2012. Análise Multicritério em SIG para Determinação de um Índice Espacializado de Pressão Antrópica Litoral. Casos de Espinho, Caparica e Faro. MsC Th, FCSH- UNL.
- Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H., 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *JGR*, C4, 104:7649-7666.
- Coeveld, E.M., Van Gent, M.R.A.; Pozueta, B. (2005). Neural Network Manual NN\_OVERTOPPING2. CLASH WP8, junho.
- Craveiro, J.L., Antunes, O., Freire, P., Oliveira, P., Almeida, I.D., Sancho, F. (2012). Comunidades Urbanas na Orla Costeira: a Metodologia Multicritério AHP (Analytic Hierarchy Process) para a Construção de um Índice de Vulnerabilidade Social face à Ação Marítima. 2<sup>o</sup> Cong. Ibero-Americano de Respos. Social, 25a27OUT2012. ISEG, Fortes, C.J.E.M. (2002). Transformações Não Lineares de Ondas em Zonas Portuárias. Análise pelo Método dos Elementos Finitos. PhD Th., IST.
- Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T., Poseiro, P., Capitão, R., Santos, J.A., Pinheiro, L.P., Rodrigues, A., Sabino, A., Rodrigues, M.C., Raposeiro, P., Ferreira, J.C., Silva, C., Simões, A., Azevedo, E.B. (2013). O Projeto HIDRALERTA. Sistema de Previsão e Alerta de Inundações em Zonas Costeiras e Portuárias. 8<sup>as</sup> JPECP, LNEC, 10 e 11 de outubro.
- Mase, H., Tamada, T., Yasuda, T., Hedges, T.S., Reis, M.T. (2013). Wave runup and overtopping at seawalls built on land and in very shallow water. *JWPCOE*, Vol. 139(5), pp. 346-357.
- Neves, D.R., Santos, J.A., Reis, M.T., Fortes, C.J.E.M., Simões, A., Azevedo, E.B., Rodrigues, M.C. (2012). Metodologia de avaliação do risco associado ao galgamento de estruturas marítimas. Aplicação ao porto e à baía da Praia da Vitória, Açores, Portugal. *RGCI*, 12(3), 291-312.
- Pinheiro, L., Fortes, C.J.E.M., Santos, J.A., Fernandes, L., Walkley, M. (2011). Boussinesq-type numerical model for wave propagation near shore and wave penetration in harbors. *MARTECH* 2011, 10 a 12 de maio, Lisboa.
- Poseiro, P., Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T., Santos, J.A., Simões, A., Rodrigues, C., Azevedo, E. (2013a). A methodology for overtopping risk assessment in port areas: Application to the Port of Praia da Vitória (Azores, Portugal). *Proc. SCACR* 2013, 4 a 7 de junho, LNEC, Portugal.
- Poseiro, P., Fortes, C.J.E.M., Santos, J.A., Reis, M.T., Craveiro, J. (2013b). Aplicação do processo de análise hierárquica (AHP) à análise das consequências de ocorrência de galgamentos. O caso da baía da Praia da Vitória. 8<sup>as</sup> JPECP, 10 e 11 de outubro.
- Pullen, T., Allsop, N.W.H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schuttrumpf, H., Van der Meer, J.W. (2007). *EurOtop: Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual*. Environment Agency, UK, Exper. Net. Water., NL, Kuratorium fur Fors. im Kustening., DE, August.
- Raposeiro, P.D., Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T., Ferreira, J.C. (2010). Development of a methodology to evaluate the flood risk at the coastal zone. In *Geographic Tech.s Applied to Mar. Spatial Plan. and Int. Coastal Zone Manag.*, 129-137.
- Sabino, A.; Rodrigues, A.; Araújo, J.; Poseiro, P.; Reis, M. T.; Fortes, C. J. E. M. (2014). Wave Overtopping Analysis and Early Warning Forecast System, ICCSA 2014, Guimarães.
- Santos, F.L (2013). Redes neurais artificiais artmap-fuzzy aplicadas ao estudo de agitação marítima e ondas de lagos. PhD Th. FEIS, UNESP, Brasil.
- Tolman, H. (1999). User Manual and System WAVEWATCH-III Documentation .v.1.18 NOAA/NWS/NCEP/OMB Tech.Note 166:110p., (EUA).