

GESTÃO DE EMERGÊNCIAS EM ZONAS COSTEIRAS

Rodrigo M. FERNANDES¹; Francisco J. CAMPUZANO²; Manuela JULIANO³; Frank BRAUNSCHWEIG⁴; Ramiro J. NEVES⁵

RESUMO

A importância dos recursos marinhos em zonas costeiras justifica uma contínua monitorização dos riscos naturais e antropogénicos que lhe estão associados. A contaminação costeira accidental e as tempestades marítimas são exemplos de fenómenos que podem ameaçar ecossistemas e socio-economia costeiras, pelo que a gestão deste tipo de emergências deverá ser otimizada no sentido de melhorar a prevenção e eficiência da resposta.

As evoluções tecnológicas a nível computacional, nos sistemas de monitorização em tempo real, e na capacidade de previsão de condições meteo-oceanográficas, permitem hoje o desenvolvimento de ferramentas inovadoras para a gestão de emergências em zonas costeiras, facilitando o planeamento estratégico, mas também agilizando as componentes tática e operacional da resposta a estes tipos de fenómenos.

O presente trabalho coloca em evidência a utilização e integração de modelos meteo-oceanográficos na definição e redução de riscos costeiros associados a contaminação costeira accidental e a tempestades marítimas, através do desenvolvimento de diferentes ferramentas de modelação inovadoras ou de apoio à decisão, entre as quais:

- Sistemas holísticos para a análise histórica ou monitorização em tempo real do risco de contaminação costeira associado ao tráfego marítimo;
- Sistemas táticos e operacionais para simulação de derivas e comportamento de hidrocarbonetos e químicos/sistemas de alerta automáticos com previsão de trajetória e comportamento de derrames de hidrocarbonetos despoletados por manchas identificadas por satélite.

A utilização deste tipo de ferramentas permite uma melhor identificação de uma fonte de

¹ Mestre e Eng. Ambiente; MARETEC – Dep. Eng. Mecânica – Instituto Superior Técnico – Univ. Lisboa; Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa, Portugal; rodrigo.maretec@tecnico.ulisboa.pt, Telefone: +351 218419434.

² Mestre e Lic. Ciências Marinhas; Dep. Eng. Mecânica – MARETEC – Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa; Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa, Portugal; campuzanofj.maretec@tecnico.ulisboa.pt, Telefone: +351 218419429.

³ Doutor e Professora Auxiliar; LAMTec-ID - Universidade dos Açores; Praia da Vitória, Ilha Terceira, Açores; manuela@uac.pt Telefone: +351 295542239.

⁴ Mestre e Eng. Civil; Action Modulers, Estrada Principal, 29, 2640-583, Mafra, Portugal; frankbraunschweig@actionmodulers.pt, Telefone: + 351 914 543 460.

⁵ Doutor e Professor Associado; MARETEC – Dep. Eng. Mecânica – Instituto Superior Técnico – Univ. Lisboa; Avenida Rovisco Pais 1049-001 Lisboa, Portugal; ramiro.neves@tecnico.ulisboa.pt, Telefone: +351 218417397.

poluição; melhoria na prontidão e resposta, otimizando a gestão de recursos em caso de ocorrência iminente ou real; planeamento estratégico na gestão, distribuição e localização de recursos de contenção e combate ou na adoção suplementar de medidas mitigadoras.

Os resultados apresentados neste trabalho mostram em particular de que modo a metodologia aplicada permite uma caracterização mais realista e dinâmica dos riscos de contaminação costeira associados à navegação.

Palavras-chave: derrames; gestão de emergências; modelação matemática; MOHID; ferramentas de apoio à decisão; risco.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de vigilância marítima em zonas costeiras têm evoluído a nível tecnológico ao longo do tempo. Da mesma forma, as regras de segurança marítima tornaram-se mais restritivas, seguindo a convenção MARPOL (por exemplo, a mudança para navios de casco duplo). Porém, o aumento do tráfego marítimo global (quatro vezes mais navios agora do que em 1992) e do transporte marítimo de produtos derivados do petróleo e outros químicos perigosos dificultam uma redução significativa dos riscos ambientais, económicos e sociais com origem em potenciais derrames no mar. Adicionalmente, a utilização crescente de navios de grandes dimensões (100,000-150,000 toneladas) torna evidente que, se um acidente com estas embarcações resultar num derrame, a quantidade de poluentes derramados poderá ser catastrófica.

De facto, as repercussões ambientais e socioeconómicas associadas a derrames são e continuarão a ser um tópico relevante: este tipo de incidentes sucedem-se de forma continuada, muitas das vezes de forma desconhecida para o público em geral devido aos seus impactos de pequena escala – com efeito, metade do total de derrames de hidrocarbonetos em ambiente marinho é proveniente de descargas operacionais de embarcações, e na maioria dos casos tratam-se de descargas ilegais (GESAMP, 2007).

Ainda assim, nesta era da informação, alguns derrames tornam-se autênticos fenómenos media, devido às suas dimensões, impactes ambientais e socioeconómicos em ecossistemas e comunidades locais, e também devido às imagens chocantes e espetaculares que muitas vezes são geradas.

Também as alterações climáticas têm agravado os riscos associados a catástrofes costeiras naturais. Os riscos de catástrofes naturais resultantes de mudanças climáticas são um problema global das zonas costeiras. A investigação destes processos tornou-se uma questão prioritária a nível internacional, a fim de avaliar consequências e contribuir para a sua mitigação. A adaptação atempada às mudanças climáticas, onde se inclui a capacidade para prever a ocorrência de tempestades e especialmente as suas consequências em cada local da costa é essencial para proteger décadas de desenvolvimento e de acumulação de ativos ao longo da costa. A falta de previsões precisas e da sua divulgação junto dos interessados pode comprometer o planeamento e gestão das atividades económicas, da segurança marítima e da vida humana.

Consequentemente, o planeamento e prevenção na gestão de incidentes costeiros (quer sejam de origem antropogénica ou natural) é extremamente importante na redução e minimização dos potenciais impactes. Os mais recentes desenvolvimentos tecnológicos e

científicos em monitorização costeira e oceanografia operacional fornecem hoje uma oportunidade para construir sistemas de apoio à decisão em gestão do risco costeiro mais complexos e integradores. A crescente capacidade preditiva operacional de condições do estado do mar, um melhor conhecimento dos processos e comportamento de substâncias poluentes no mar e zonas costeiras, em conjunto com a presença de ferramentas de monitorização e vigilância avançadas, são fatores que podem ser combinados para o desenvolvimento de um melhor processo de decisão quer seja na resposta a situações de emergência, quer seja nas etapas de planeamento estratégico para fazer face a esses eventuais riscos naturais ou antropogénicos.

1.1 Caso de Estudo

A área utilizada para aplicação e teste da metodologia é a costa continental Portuguesa.

A elevada frequência de navios a circular nesta costa (mais de 55,000 navios comerciais por ano atravessa esta área, com uma média de 140 navios presentes a cada instante na área de estudo, de acordo com Silveira *et al.*, 2013), em conjunto com o valor ecológico da região e a dependência portuguesa da economia do mar e seus recursos, eleva a preocupação com o risco de acidentes costeiros nesta área.

1.2 Objetivos

O principal objetivo neste trabalho é o desenvolvimento e integração de uma infraestrutura de previsão meteo-oceanográfica no suporte à gestão costeira em situações de emergência, com exemplos concretos dessa mesma integração em ferramentas de apoio à decisão na costa continental portuguesa. Pretende-se que essas ferramentas sejam inovadoras, combinando de forma transparente várias fontes de informação disponíveis, e possibilitem tirar o máximo partido da capacidade de previsão implementada, fornecendo aos decisores instrumentos robustos, realistas, fáceis e práticos de utilizar. Por fim, pretende-se também que a metodologia desenvolvida seja facilmente transferível ou expansível a outras zonas.

2. METODOLOGIA

A abordagem metodológica seguida consistiu em primeiro lugar pelo desenvolvimento e implementação operacional de uma infraestrutura de previsão meteo-oceanográfica, e em segundo lugar pela sua integração em ferramentas de apoio à decisão.

2.1 Sistemas de previsão meteo-oceanográfica

Ao longo dos anos, foi desenvolvida uma infraestrutura de modelação operacional integrada que permite estudar os processos do ciclo da água em Portugal Continental em diferentes processos e escalas (oceânica, costeira, estuários e bacias hidrográficas), e em diferentes formatos.

2.1.1 Automatização dos modelos

Foi desenvolvido um sistema de automatização e controlo das fases de pré-processamento, execução, disponibilização de resultados e validação dos modelos meteo-oceanográficos. O sistema automático ART (*“Automatic Running Tool”*) permite assim de forma genérica, automática e com fácil configuração:

- descarregar, interpolar ou filtrar as diferentes fontes de informação e condições de fronteira necessárias ao modelos (p.ex. caudais dos rios medidos pelo SNIRH);
- executar diferentes modelos numéricos (incluindo o MOHID Water e MOHID Land, WW3, WRF);
- gerar mapas de resultados ou de validação automática utilizando MatLab ou Surfer, ou mesmo distribuir janelas de resultados ou séries temporais por diferentes destinatários (quer seja em servidores FTP ou catálogos THREDDS / OPENDAP);
- enviar notificações por correio eletrónico relativamente à execução dos modelos.

Todo o sistema está também preparado para utilizar de modo automático fontes de informação redundantes, melhorando a capacidade operacional e autonomia do sistema.

Uma vez que alguns modelos estão interligados entre si (por exemplo: é adotada uma estrutura de modelos encaixados para os vários sistemas; os modelos hidrodinâmicos podem fornecer resultados para o modelo de agitação marítima e vice versa), foi desenvolvido um mecanismo automático de espera, que permite que um determinado modelo operacional que dependa de outro, aguarde (dentro de um intervalo expectável) pela execução e finalização desse modelo, iniciando logo depois a sua execução.

A metodologia seguida permite a implementação de uma estrutura de modelação operacional com acoplamento bidirecional (“*downscaling*” e “*upscaling*”), mas de modo “offline”, evitando assim que um determinado modelo operacional pare de correr apenas porque um outro modelo não foi bem executado.

O sistema desenvolvido tem a particularidade de, para além de poder ser utilizado em modo de previsão (sendo executado automaticamente todos os dias), poder também ser utilizado em modo sequencial automático para períodos passados, sendo assim uma ferramenta de modelação versátil para estudos de modelação específicos.

2.1.2 Correntes e propriedades da água

Atualmente, o modelo hidrodinâmico de Portugal Continental para previsão de correntes e propriedades da água é uma implementação do modelo MOHID na configuração 3D baroclínica e abrange a região Ibérica Atlântica. Este modelo inclui vários submodelos encaixados (“*offline*”) para simular a hidrodinâmica e qualidade da água dos estuários portugueses e zonas costeiras, incluindo o Tejo, Mondego, Ria de Aveiro, Douro, Sines e Estoril, entre outros. O sistema de modelos encaixados integra diferentes escalas espaciais, diferentes fontes de forçamento meteorológico e condições de fronteira, melhorando assim os resultados dos modelos na escala local (<http://forecast.maretec.org>).

O modelo em questão é o modelo PCOMS-MOHID (Mateus *et al.*, 2012, Pinto *et al.*, 2012), em que as condições de fronteira aberta oceânica são fornecidas pelo sistema Mercator-Ocean PSY2V4 Atlântico Norte e por componentes de maré estimadas por uma versão 2-D do MOHID (Neves, 2013; Ascione Kenov *et al.*, 2014), forçado pelo modelo global de maré FES2004. O sistema PCOMS-MOHID tem uma resolução horizontal de 6.6 km e uma discretização vertical de 50 camadas com resolução decrescente desde a superfície do mar até ao fundo, atingindo 1m de resolução à superfície (Ascione Kenov *et al.*, 2014). O forçamento atmosférico é fornecido pelos modelos meteorológicos descritos em 3.1.4. O modelo encontra-se operacional (http://forecast.maretec.org/maps_pcoms.asp) e a sua validação encontra-se descrita em Mateus *et al.*, 2012.

Mais recentemente, foi desenvolvida uma nova versão (v2) do modelo PCOMS-MOHID com acoplamento bidirecional, com a particularidade de integrar os fluxos provenientes dos diferentes estuários ibéricos (sendo que os fluxos são estimados pelos próprios modelos operacionais de estuário, que por sua vez utilizam descargas dos rios provenientes dos outputs do modelo hidrológico operacional para as bacias hidrográficas da Península Ibérica) (Campuzano *et al.*, 2014).

2.1.3 Agitação marítima

Os parâmetros de ondulação são estimados pelo modelo operacional de agitação marítima WAVEWATCH III (WWIII) numa versão que permite a simulação de ondas costeiras em águas profundas e pouco profundas (version 3.14 – Tolman, 2009) para a região do Atlântico Norte, para a zona do Sudoeste da Europa e na costa Portuguesa. Utilizando a mesma metodologia e o mesmo sistema de modelação, outros domínios de maior resolução podem ser acoplados em modo “*offline*”, de modo a permitir estudar em detalhe algumas zonas costeiras ou estuarinas.

O modelo de agitação marítima implementado tem a resolução especial de 5km, e o forçamento atmosférico é atualmente fornecido pelo modelo *Global Forecasting System* (GFS) do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) (atualmente com uma resolução espacial de 0.25°). Este modelo foi validado para na costa continental portuguesa para o ano de 2012 (Franz *et al.*, 2014).

2.1.4 Meteorologia

As condições atmosféricas são fornecidas por dois sistemas de previsão meteorológica: IST-MM5, utilizando o modelo MM5, e IST-WRF, que utiliza o modelo WRF. Ambos fornecem resultados para a costa continental portuguesa com 9km de resolução espacial, e que têm como condições de fronteira os resultados do modelo GFS da NOAA. O sistema IST-MM5 foi implementado inicialmente por Sousa, 2002, e posteriormente atualizado e melhorado em 2005 (Trancoso, 2012). O sistema IST-WRF foi desenvolvido e implementado por Trancoso, 2012.

2.2 Modelo de transporte e comportamento de derrames de hidrocarbonetos e compostos químicos

O sistema de modelação tridimensional do transporte e comportamento de derrames de hidrocarbonetos e compostos químicos foi desenvolvido no software de modelação MOHID, sendo integrado no módulo lagrangiano. A abordagem de modelação utiliza o conceito de traçador, em que os poluentes simulados são representados por uma nuvem de partículas (ou super-partículas) discretas transportadas por advecção pelo vento, correntes e ondas, e espalhadas devido a difusão turbulenta aleatória e / ou espalhamento mecânico.

A diversidade e capacidade de integração da componente lagrangiana do MOHID com ferramentas de simulação poderosas e ao mesmo tempo simples (Fernandes *et al.*, 2013) é uma vantagem relevante na adoção deste software de modelação para o trabalho em questão.

A componente de modelação de derrames de hidrocarbonetos no MOHID foi desenvolvida inicialmente em 2001 (Fernandes, 2001), e ao longo dos anos foi aplicada de forma operacional em diferentes incidentes (Carracedo *et al.*, 2006), exercícios de campo e estudos no mundo inteiro, permitindo a simulação dos principais processos de transporte e envelhecimento de hidrocarbonetos no mar. Recentemente, o software foi atualizado para simular o movimento e comportamento das partículas de hidrocarbonetos em 3D, transporte horizontal devido às ondas (deriva de Stokes), e interação com a linha de costa (Fernandes *et al.*, 2013), bem como a possibilidade de simular derrames no fundo do mar (Leitão *et al.*, 2013) e interação com barreiras de contenção.

Quanto à modelação de químicos, este modelo foi recentemente desenvolvido no MOHID (Fernandes *et al.*, 2014b, Fernandes *et al.*, 2014c), e estima a distribuição das substâncias químicas na superfície, nas linhas de costa, atmosfera, coluna de água, sedimentos em suspensão e no fundo do mar. A massa derramada é transportada e transformada em diferentes fases. O modelo simula de forma independente as parcelas de massa evaporada ou volatilizada, fração flutuante, gotículas que penetram a coluna de água, parcela adsorvida a partículas em suspensão, componente dissolvida. A massa dos poluentes químicos é transportada de forma tridimensional no espaço e no tempo. O movimento horizontal é controlado pelas correntes, velocidade induzida pelas ondas (deriva de Stokes), velocidade do vento na camada superficial da água (para substâncias flutuantes), espalhamento mecânico, e turbulência horizontal. O movimento vertical é estimado de acordo com a advecção das correntes, velocidade de ascensão e velocidade de afundamento (quando adsorvido a matéria em suspensão), e dispersão turbulenta. Os processos de envelhecimento incluem a penetração vertical na coluna de água devido à rebentação das ondas, evaporação da superfície, volatilização da coluna de água, dissolução, partição / sedimentação (adsorção a matéria em suspensão), ressuspensão e degradação.

Ambos os módulos (de químicos e hidrocarbonetos) permitem a simulação integrada com o modelo hidrodinâmico, ou acoplado de forma autónoma (“*offline*”), sendo esta última a solução adotada para a integração das ferramentas de apoio à decisão desenvolvidas neste trabalho. Esta abordagem permite beneficiar dos modelos meteo-oceanográficos previamente simulados, e assim otimizar a eficiência computacional.

2.3 Ferramentas de suporte à decisão

Os decisores envolvidos na gestão de emergências necessitam de ferramentas integradoras, fáceis de usar e orientadas para a problemática em questão, capazes de ajudar na decisão em momentos de resposta ou em fases de planeamento e prevenção. A utilização de resultados de modelos meteo-oceanográficos em bruto não é particularmente útil para os decisores, mas a sua integração em ferramentas de suporte à decisão que integrem várias fontes de informação permite valorizar esses modelos numéricos. De seguida são apresentados alguns exemplos de ferramentas de apoio à decisão desenvolvidos nessa filosofia.

Os sistemas em questão foram desenvolvidos de raiz no ambiente de trabalho GIS MOHID Studio (<http://www.actionmodulers.pt/default.aspx?canal=33>), que entre outras funções, é a interface gráfica oficial para o modelo numérico MOHID. O objetivo centralizador é de caminhar em direção ao desenvolvimento de uma plataforma unificadora e integradora para

apoiar os decisores na gestão de emergências, evitando assim a dispersão por múltiplas interfaces, software e aplicações na gestão do mesmo incidente.

Contudo, e de forma a não excluir outros utilizadores que não usem o MOHID Studio, a filosofia de desenvolvimento passa também pela distribuição / exportação das camadas de resultados em diferentes plataformas vulgarmente utilizadas, entre as quais: *web browsers*, *web services*, *mobile*, Google Earth, ESRI ARCGIS (*shapefile*).

2.3.1 Risco de contaminação costeira com base no tráfego marítimo

Foi desenvolvida uma metodologia holística para estimar de forma dinâmica as variações espaço-temporais dos níveis de risco de contaminação costeira proveniente de derrames de navios, integrando modelos de previsão numéricos meteo-oceanográficos e simulações de derrames de hidrocarbonetos, com informação variável dos navios (obtidos a partir de AIS – “*automatic identification system*”). O nível do risco combina a probabilidade de ocorrência de um derrame de hidrocarbonetos a partir de um navio a circular na área de interesse, com as consequências que esse derrame trariam à costa:

$$\text{Risco} = \text{Probabilidade} \times \text{Severidade} \quad (1)$$

A probabilidade de acidente com derrame é baseada nas condições dinâmicas do estado do mar (que, no algoritmo de risco, são transformadas em fatores de correção) e informação estatística de acidentes anteriores (constantes de frequência por tipo de acidente).

As consequências costeiras (ou severidade) refletem a quantidade de hidrocarbonetos virtualmente derramado que chegou à linha de costa, em conjunto com os índices de vulnerabilidade costeira. A quantidade de hidrocarbonetos que chega à linha de costa é estimada pelo modelo de transporte e comportamento de hidrocarbonetos do MOHID, que ao longo do tempo é continuamente executado para múltiplos derrames virtuais dos navios (um derrame por navio na área de estudo).

Os índices de vulnerabilidade costeira considerados no algoritmo de risco são: índice de sensibilidade costeira, índice socioeconómico e índice ecológico. Este último não foi incluído ainda na área estudo, contudo a ferramenta de modelação está preparada para o utilizar, assim que a informação esteja disponível. A caracterização dos índices de vulnerabilidade costeira na área de estudo foi feita inicialmente no projeto EROCIPS, tendo sido atualizados ao longo do projeto ARCOPLatform.

A informação dos navios (proveniente do AIS) utilizada na computação do risco são a posição geográfica, tipo de carga, velocidade, tipo de navio, peso (“*deadweight*” - DWT), nome e ID (MMSI e número IMO). Os navios com menos de 100 DWT, navios de passageiros ou navios de pesca (desde que navegando a mais de 3 milhas náuticas da costa ou em zonas com mais de 20 metros de profundidade) não são considerados no cálculo do risco.

Os índices de risco podem ser calculados em tempo real ou para períodos passados. A descrição completa do modelo de risco adotado está disponível num relatório do projeto ARCOPL (Fernandes *et al.*, 2014a). O sistema foi implementado sob a forma de “*plugin*” integrado no ambiente GIS MOHID Studio.

2.3.2 Simulação “on-demand” de trajetória e comportamento de poluentes ou objetos no mar

Outro exemplo prático da integração da infraestrutura de modelação operacional com ferramentas de apoio à decisão na gestão de emergências em zonas costeiras é o desenvolvimento de um sistema de simulação em modo assistido (“*wizard*”) para gestão de emergências costeiras associadas a derrames de poluentes ou a transporte de objetos ou corpos no mar.

A ferramenta desenvolvida (sob a forma de “*plugin*” do sistema MOHID Studio) permite ao utilizador, de forma fácil e rápida, simular cenários tridimensionais de transporte e comportamento de objetos (boias derivantes, embarcações, contentores) e substâncias (hidrocarbonetos, químicos, traçadores passivos) no mar, através do módulo lagrangiano do sistema MOHID, e integrando as soluções provenientes de modelos de previsão meteo-oceanográfica (o utilizador pode alternativamente utilizar valores constantes). O sistema permite, para cada propriedade meteo-oceanográfica e em cada simulação, a utilização de uma ou mais soluções, sendo o utilizador que define a prioridade (por exemplo, em primeiro lugar utilizar as soluções com maior resolução). Deste modo é possível, por exemplo, simular de forma integrada a trajetória e comportamento de um derrame com origem num estuário que se propaga para a costa, utilizando na mesma simulação resultados de um modelo meteo-oceanográfico de alta resolução dentro do estuário e um modelo costeiro de escala maior, e com menos resolução, para quando os traçadores lagrangianos saem do domínio do estuário. Esta abordagem de modelação integrada é bastante útil para que de forma rápida e eficiente, seja possível efetuar previsões de poluentes e objetos utilizando as melhores previsões meteo-oceanográficas disponíveis em diferentes escalas e locais.

A ferramenta de modelação permite simular para a frente e para trás no tempo. A capacidade de correr para trás no tempo é particularmente útil na identificação das origens de poluição ilegal detetadas posteriormente. O sistema dispõe de uma base de dados de hidrocarbonetos da NOAA, e está a ser desenvolvida uma biblioteca de produtos químicos (com base no trabalho de compilação feito no projeto ARCOPLatform) para que o utilizador possa escolher um produto pré-definido para a sua simulação.

Para o caso específico das simulações de hidrocarbonetos, é possível simular a trajetória e comportamento de manchas de hidrocarbonetos detetadas por satélite, a partir da importação manual dos outputs do sistema de alerta CLEANSEANET da EMSA (Agência de Segurança Marítima Europeia).

A ferramenta dispõe ainda de um conjunto de opções avançadas, que incluem a configuração da dispersão turbulenta, ou a ativação ou desativação de processos específicos no transporte e envelhecimento de poluentes.

2.3.3 Sistema de alerta automático MOHID – CLEANSEANET

Adicionalmente, O MARETEC e a EMSA estabeleceram também um protocolo de cooperação científica no sentido de se desenvolverem sistemas integrados para a disponibilização automática de previsões de trajetórias de manchas de hidrocarbonetos a partir da deteção remota (satélite) de manchas de hidrocarbonetos. O objetivo é o desenvolvimento de um sistema totalmente automático e sem intervenção humana, assente em *web services* (em particular, utilizando o protocolo OGC WPS – *Web Processing*

Service, e em que a disponibilização automática (geralmente em menos de 30 minutos após a deteção) de imagens de manchas de hidrocarbonetos pelo sistema CLEANSEANET despoleta de forma automática a execução do sistema MOHID, resultando na distribuição para diferentes utilizadores de resultados da trajetória, para a frente e para trás no tempo. A possibilidade de execução do MOHID em WPS permitirá a sua integração de forma automática com a EMSA / serviço CLEANSEANET, e adicionalmente possibilitará também a integração do modelo com outros serviços web que possam comunicar através do referido protocolo.

3. APLICAÇÕES E RESULTADOS

Neste capítulo descrevem-se alguns exemplos concretos de aplicações, desenvolvimentos e exercícios que têm permitido colocar em prática a metodologia adotada para a gestão de emergências costeiras com o recurso e suporte de ferramentas de modelação numérica operacional.

3.1 Sistema de previsão meteo-oceanográfica

Os resultados dos sistemas de previsão atualmente disponíveis podem ser consultados na web em <http://forecast.maretec.org>, quer seja através de figuras com mapas dos resultados, ou de séries temporais para pontos fixos. Internamente estão também desenvolvidas ferramentas de validação automáticas e semiautomáticas, que permitem comparar os resultados dos modelos disponíveis com imagens de satélite, radares HF e boias ARGO (ver Figura 1).

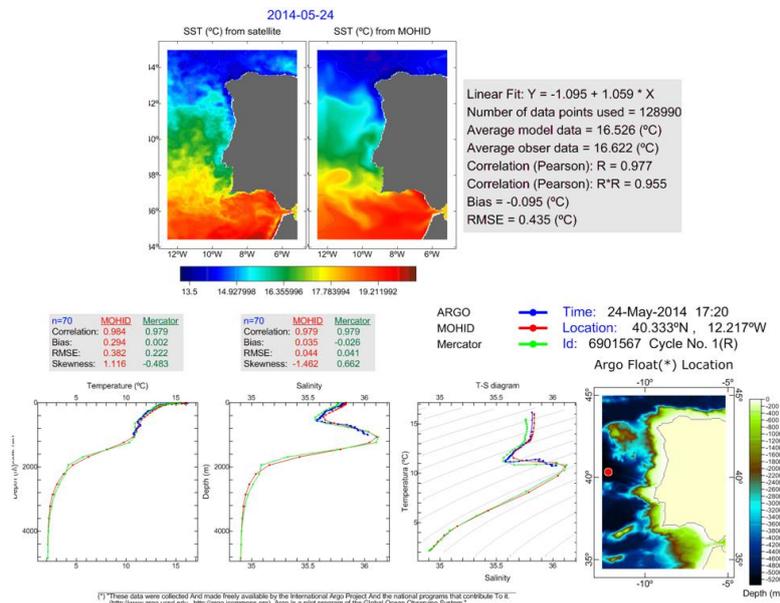


Figura 1. Ferramenta de validação automática do modelo hidrodinâmico com imagens de satélite e bóias ARGO

Esta plataforma web permite de forma rápida consultar as condições meteo-oceanográficas, bem como acompanhar a evolução dos resultados comparativamente com as medições.

Os resultados numéricos são também disponibilizados num catálogo THREDDS /

OPENDAP utilizando normas internacionais (CF “*compliant*”), metodologia comumente utilizada na comunidade científica para partilha de resultados de modelos numéricos. A disponibilização dos resultados em catálogo THREDDS e utilizando formatos-padrão facilita a sua utilização em ferramentas de apoio à decisão como as referidas neste trabalho. Em concreto, as ferramentas de cálculo do risco dinâmico e a ferramenta “*on-demand*” para simulação de trajetórias e comportamento de poluentes, permitem a utilização das condições meteo-oceanográficas importadas a partir de catálogos THREDDS.

Adicionalmente, o sistema de previsão operacional permite ainda através de FTP, a distribuição diária individualizada e com alta resolução temporal (variando entre os 600 e os 900 segundos) de previsões para pontos fixos, ou mesmo para áreas pré-definidas. A distribuição com alta resolução temporal para áreas pré-definidas é particularmente útil no acoplamento “*offline*” de modelos locais (utilizando as janelas de resultados disponibilizados como condições de fronteira aberta). A distribuição de resultados em pontos fixos permite múltiplas utilizações – como exemplo, esta possibilidade é neste momento utilizada de forma operacional pela ENONDAS, SA (do Grupo REN), no sistema “OceanPlug” (responsável pela exploração da concessão de uma zona piloto portuguesa para a produção de energia elétrica a partir das ondas do mar). A informação fornecida é disponibilizada no site www.oceanplug.pt, sendo utilizada para uma melhor gestão da produção de energia e das condições de segurança na Zona Piloto (na prevenção de tempestades marítimas).

3.2 Sistema de previsão do comportamento e trajetória dos derrames de hidrocarbonetos

As componentes de modelação e trajetória dos derrames de hidrocarbonetos têm sido particularmente abordadas no âmbito de sucessivos projetos de investigação, exercícios e simulacros associados à gestão de acidentes com poluentes no mar.

Através desse esforço continuado, tem sido possível testar a capacidade de previsão e resposta dos sistemas desenvolvidos, melhorando-os e adaptando-os aos diferentes casos de estudo. Em concreto, este sistema tem sido utilizado no estuário do Tejo, estuário do Sado, Leixões, Cascais, a maior parte das vezes em cooperação com autoridades marítimas nacionais ou locais.

Nos exercícios desenvolvidos no Tejo e no âmbito do projeto ISDAMP, foi possível desenvolver testes com barreiras de contenção, bem como a implementação do acoplamento de um modelo de comportamento das barreiras de contenção ao modelo de deriva de hidrocarbonetos através do sistema MOHID Studio, utilizando tecnologia OpenMI. Deste modo, é possível estimar a eficiência da colocação da barreira em determinadas zonas, constituindo esta aplicação um suporte tático nas operações de resposta a um derrame.

O conjunto dos exercícios tem também permitido calibrar a influência do vento à superfície em diferentes situações, resultando em resultados satisfatórios por parte do modelo. Enquanto em ambientes estuarinos são as correntes devido à maré que tendem a controlar as trajetórias, em outras zonas costeiras o vento pode assumir um papel predominante. O exercício decorrido em Maio de 2015 na zona do Porto de Leixões (no âmbito do simulacro “Anémoma” desenvolvido pelo Serviço de Combate à Poluição do Mar da Direção Geral de Autoridade Marítima – DGAM) permitiu não só verificar a predominância do efeito do vento no transporte das boias, mas também permitiu concluir a necessidade de ter em conta o

efeito das rajadas de vento, que no caso de serem muito fortes, poderão intensificar ainda mais o papel do vento no transporte superficial. Tendo em conta essa condicionante (fortes rajadas de vento) detetada no início do exercício, e a consequente parametrização do modelo de deriva (aumentando o coeficiente de arrastamento do vento à superfície ainda durante o exercício) foi possível obter previsões satisfatórias (ver Figura 2).

3.3 Mapeamento do risco costeiro e influência dos modelos meteo-oceanográficos

A ferramenta de mapeamento do risco costeiro foi testada e aplicada na área de estudo, permitindo avaliar o desempenho da interface gráfica (dentro do ambiente MOHID Studio – ver Figura 3) e a sensibilidade às condições meteo-oceanográficas.

Entretanto os mapas de risco em conjunto com as condições meteo-oceanográficas foram também disponibilizadas em layers OGC WMS, permitindo a sua utilização em websites, aplicações mobile ou sistemas GIS que façam uso das directivas OGC (por exemplo, ESRI, Google Earth), mostrando assim a interoperabilidade da metodologia desenvolvida.

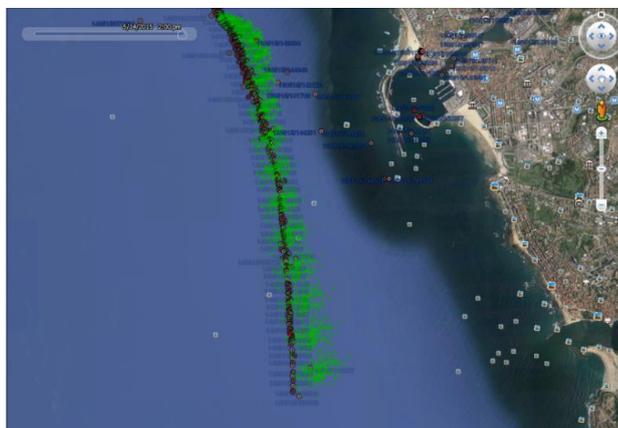


Figura 2. Evolução das posições das bóias derivantes (pontos vermelhos) com a previsão do modelo de deriva MOHID (partículas verdes) no simulacro “Anémoma” em Leixões, a 14-5-2015

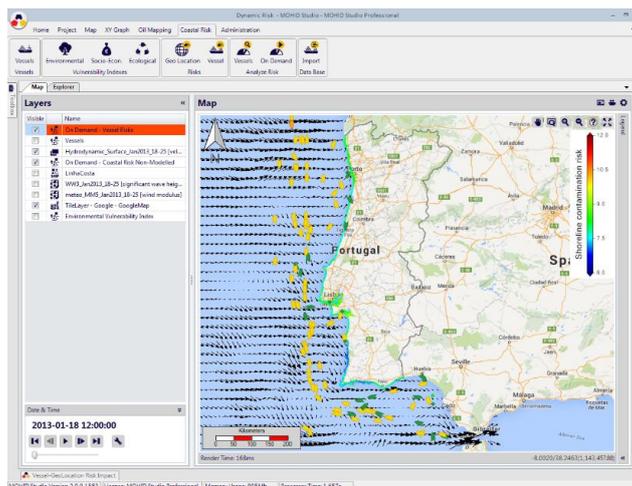


Figura 3. Interface gráfica do “plugin” de cálculo do risco, com visualização simultânea dos riscos de incidente de derrame, riscos de contaminação costeira, velocidade superficial das correntes e camada Google map. As cores do risco de incidente são apresentadas por categorias (verde, amarelo, laranja e vermelho)

Uma das análises de sensibilidade consistiu na comparação do valor do risco de incidentes quando as embarcações estão sujeitas a diferentes condições meteo-oceanográficas. Assim, e utilizando as mesmas posições dos navios, alteraram-se diferentes parâmetros meteo-oceanográficos (neste caso velocidade do vento e altura da onda) para verificar o comportamento do risco de incidentes (representado nas embarcações com diferentes cores: verde significa o risco mais baixo; vermelho ou cor-de-laranja significam os riscos mais elevados). Na Figura 4a (com valores mais altos de velocidade do vento) e Figura 4b (valores mais baixos) verifica-se que de forma global os riscos de incidente tendem a ser maiores com o aumento da velocidade do vento – comportamento que é também registado com outras componentes meteo-oceanográficas (como por exemplo as correntes e a altura da onda).

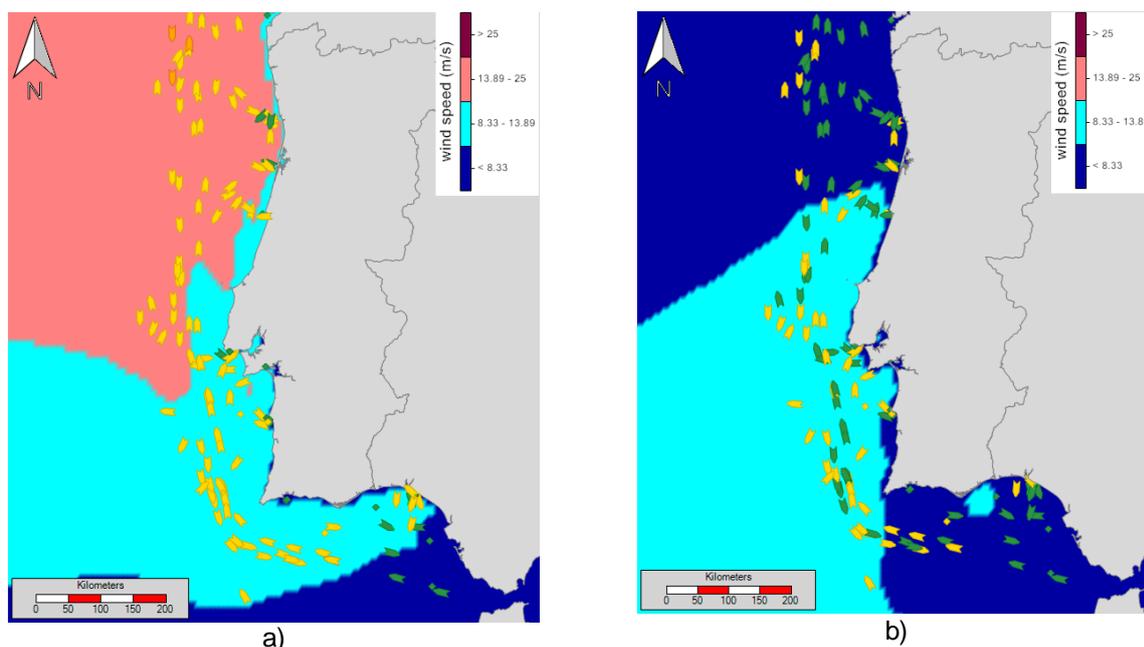


Figura 4. Riscos de incidentes de derrames nos navios (os navios de cor verde significam menor risco, amarelo significam risco médio e os laranja significam risco maior) na área de estudo, com os navios nas mesmas posições, mas com diferentes condições meteo-oceanográficas. a): velocidade do vento a 19-1-2013 06:00; b): velocidade do vento em 19-6-2013 06:00.

Outra análise de sensibilidade consistiu em calcular os valores médios e máximos instantâneos dos riscos de contaminação costeira (registados na linha de costa) em toda a costa continental portuguesa ao longo de um período curto (uma semana), utilizando as mesmas posições dos navios, mas diferentes condições meteo-oceanográficas. Assim, num dos cenários utilizaram-se condições meteo-oceanográficas simuladas entre 18 e 25 de Janeiro de 2013 (inverno), e noutro cenário utilizaram-se as condições meteo-oceanográficas simuladas entre 18 e 25 de Junho de 2013 (verão). Na Figura 5, de uma forma geral, é visível o maior risco no cenário de inverno. Os valores máximos são bastante superiores às médias, o que mostra o carácter heterogéneo do risco ao longo da costa.

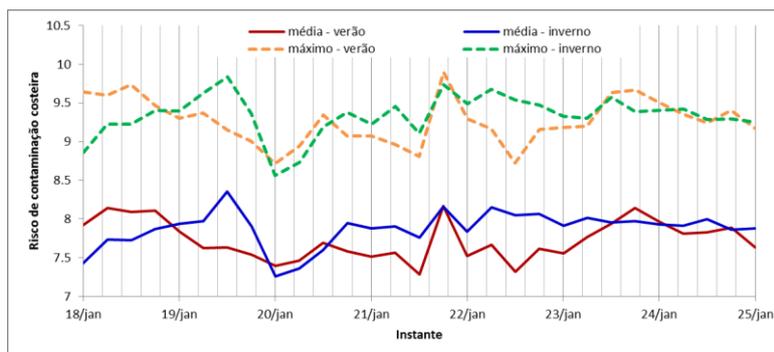


Figura 5. Evolução do risco de contaminação costeira integrado (valor médio e máximo) para toda a zona de estudo, com informação AIS dos navios registada entre 18-1-2013 e 25-1-2013, e utilizando condições meteo-oceanográficas distintas para situação de verão (entre 18-6-2013 e 25-6-2013) e inverno (entre 18-1-2013 e 25-1-2013)

Por último, analisou-se a influência da inclusão do modelo de deriva no cálculo do risco de contaminação costeira. Para tal, simularam-se dois cenários, para o mesmo período e com as mesmas posições dos navios: comparou-se o risco médio de contaminação costeira utilizando um cenário de vento “*offshore*” e outro cenário de vento “*onshore*”, portanto favorável ao transporte para a costa (ver Figura 6).

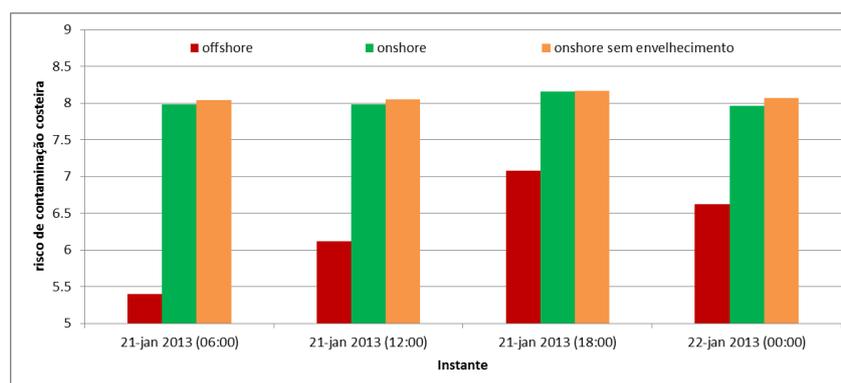


Figura 6. Evolução do risco médio de contaminação costeira integrado para toda a área de estudo, e em diferentes instantes, utilizando três cenários de simulação diferentes: condições de vento “*offshore*”; vento “*onshore*” e “*onshore*” sem simular processos de envelhecimento dos hidrocarbonetos.

A análise efetuada permite verificar o carácter dinâmico do risco de contaminação costeira, uma vez que os valores do risco são significativamente diferentes caso o poluente tenha derivas opostas. Os cenários efetuados não permitem contudo analisar a importância da inclusão dos processos de envelhecimento dos hidrocarbonetos, uma vez que os valores de risco são muito semelhantes com ou sem envelhecimento. Seria de esperar que os processos de envelhecimento reduzissem os hidrocarbonetos a chegarem à costa, e assim reduzissem os níveis de risco. Contudo, uma vez que o produto petrolífero utilizado nas simulações (um crude médio denominado “Carpinteria”) é pouco sujeito a processos de envelhecimento (tem baixa evaporação e dispersão e emulsificação praticamente nulas), as diferenças entre os dois cenários não foram significativas.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A metodologia apresentada neste trabalho coloca em evidência o papel que os modelos numéricos – quer sejam meteo-oceanográficos, quer sejam lagrangianos para o cálculo de deriva e comportamento de poluentes – podem desempenhar na gestão de emergências em zonas costeiras, quer elas tenham origem antropogénica ou natural. Através sobretudo da sua integração em ferramentas de apoio à decisão, os modelos utilizados permitem facilitar o acesso dos decisores a sistemas mais dinâmicos e holísticos, e que em última análise melhoram a tomada de decisões. Em particular, analisou-se a importância de integrar modelos meteo-oceanográficos e de deriva dos poluentes na ferramenta de risco dinâmico, tendo sido analisada a sua sensibilidade a diferentes parâmetros como o vento.

Salienta-se o facto de que a infraestrutura de gestão de emergências costeiras suportada por modelos numéricos aqui apresentada, permite não só uma melhor capacidade operacional para monitorizar e responder a incidentes reais, mas também uma melhor prevenção e planeamento estratégico, uma vez que os modelos e/ou as ferramentas aqui apresentadas permitem a sua utilização para períodos passados ou para cenários futuros.

A utilização de uma abordagem integrada (em direção a uma interface gráfica única para gerir situações de emergência) é fundamental para melhorar a eficiência na resposta a emergências, assegurando contudo a exportação, e publicação dos resultados em outras plataformas e interfaces gráficas vulgarmente utilizadas, através do recurso a normas e diretivas internacionais (ex. OGC).

Um dos aspetos mais relevantes deste trabalho é a possibilidade de transferibilidade ou expansão das ferramentas aqui apresentadas para outras áreas de estudo, utilizando outras fontes de informação e outros modelos meteo-oceanográficos. Por exemplo, a implementação de mapas de risco dinâmicos em outras áreas do Atlântico, aplicando a metodologia desenvolvida neste trabalho, é uma possibilidade com um esforço mínimo.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente suportado por ARCO POL PLATFORM (2013-1/252), EnergyMare (2011-1/157) (EU Atlantic Area) e ISDAMP (638516/2012/ECHO/A5/SUB) (DG-ECHO).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ascione Kenov, I., Campuzano, F., Franz, G., Fernandes, R., Viegas, C., Sobrinho, J., de Pablo, H., Amaral, A., Pinto, L., Mateus, M., Neves, R. (2014). *Advances in Modeling of Water Quality in Estuaries*. In: Remote Sensing and Modeling. Eds. C.W. Finkl, C. Makowski. Springer, pp. 237-276.
- Campuzano FJ, Kenov I, Brito D, Juliano M, Fernandes R, Pinto L, Neves R. (2014). Numerical evaluation of the river nutrients influence for the Western Iberian coastal region. In *3.^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, 24-26 June, Lisboa, Portugal. Extended abstracts: 263-266.
- Carracedo, P., Torres-López, S., Barreiro, M., Montero, P., Balseiro, C.F., Penabad, E., Leitão, P.C., Pérez-Munuzuri, V. (2006). Improvement of Pollutant Drift Forecast System Applied to the Prestige Oil Spills in Galicia Coast (NW of Spain): Development of an

Operational System. *Marine Pollution Bulletin*, 53: 350-360.

Fernandes, R. (2001). Modelação de Derrames de Hidrocarbonetos. Relatório Final de Curso em Eng. Ambiente, IST, UTL, Lisboa.

Fernandes, R., Braunschweig, F., Lourenço, F. (2014a). Dynamic Risk Analysis adapted to different regional needs: Dynamic Risk Tool manual and implementation methodology, ARCOPOL PLUS Report, IST, <http://www.arcopol.eu/?/=section/resources/search/1/resource/105>.

Fernandes, R. (2014b): MOHID HNS (Chemical) Spill Module - Technical and Scientific Manual, ARCOPOL PLUS Report, Instituto Superior Técnico, www.arcopol.eu/index.php/?/=section/resources/sub/r_hns/pag/4/resource/107.

Fernandes, R. (2014c). A new modelling tool for chemical spill modellers and responders, In 7th EUROGOOS Conference, Lisbon, Portugal.

Fernandes, R., Neves, R., Viegas, C., Leitão, P. (2013): Integration of an Oil and Inert Spill Model in a Framework for Risk Management of Spills at Sea: A Case Study for the Atlantic Area. In Proceedings of the Thirty-sixth AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response, Environment Canada, Ottawa, ON, 326-353.

Franz, G., Campuzano, F., Pinto, L., Fernandes, R., Sobrinho, J., Simões, A., Juliano, M., Neves, R. (2014). Implementation and validation of an operational wave modelling forecasting system for the Portuguese Coast, 7th EUROGOOS Conference, Lisbon, Portugal.

GESAMP (2007). Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP) – Report No. 75 “Estimates of Oil Entering the Marine Environment from Sea-Based Activities”, 61

Leitão, P. C., Malhadas, M., Ribeiro, J., Leitão, J., Pierini, J., Otero, L. (2013): An overview for simulating the blow out of oil spills with a three-dimensional model approach (Caribbean Coast, Colombia). In Ocean modelling for coastal management – Case studies with MOHID. Ed. M. Mateus and R. Neves, IST PRESS, 97 – 115.

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.

Neves R. (2013). The Mohid concept. In Ocean modelling for coastal management - Case studies with MOHID. Ed. M. Mateus and R. Neves IST Press. 1-11.

Pinto, L., Campuzano, F., Fernandes, R., Fernandes, L., Neves, R. (2012). An operational model for the Portuguese coast. In 2.^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa, 85–88.

Silveira, P.A.M., Teixeira, A.P., Guedes Soares, C. (2013). Use of AIS data to characterise marine traffic patterns and ship collision risk off the coast of Portugal, *Journal of Navigation*, 66 (06) 879–898.

Sousa, T. (2002). Previsão meteorológica em Portugal Continental utilizando um modelo operacional e de investigação MM5. Dissertação Mestrado Eng. Ambiente, IST, UTL, Lisboa.

Tolman, H. L. (2009). User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14 - Technical note, MMAB Contribution 276.

Trancoso, A. R. (2012). Operational Modelling as a Tool in Wind Power Forecast and Meteorological Warnings. Tese de Doutoramento, IST, UTL.