



SAFEPORT-SINES. SISTEMA DE SEGURANÇA PARA O PORTO DE SINES

João Alfredo Santos^{1,3}, Liliana Pinheiro², Andreia H. Gomes², Conceição Fortes², Carlos Guedes-Soares³

¹ ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa

² Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC

³ CENTEC - Centre for Marine Technology and Ocean Engineering, Universidade de Lisboa

jasantos@dec.isel.ipl.pt, lpinheiro@lnec.pt, ahgomes@lnec.pt, jfortes@lnec.pt,
c.guedes.soares@centec.tecnico.ulisboa.pt

Resumo

O SAFEPORT-SINES é um sistema de previsão e alerta para a segurança da navegação em zonas portuárias, englobando situações de emergência associadas a navios em trânsito ou amarrados, devidas a condições meteo-oceanográficas extremas. O sistema fornece previsões com 3 dias de antecedência da agitação marítima, das condições de vento e de maré, assim como dos movimentos dos navios, identificando as situações que possam ter consequências graves nos navios em manobra ou amarrados dentro do porto. Os níveis de risco associados baseiam-se em critérios de segurança e de operacionalidade, nomeadamente nos movimentos do navio e nos esforços nos elementos de amarração.

Neste trabalho apresenta-se o sistema SAFEPORT em termos do seu desenvolvimento e arquitetura, do fluxo e tratamento de dados e do funcionamento dos modelos numéricos utilizados. Apresenta-se ainda o funcionamento da plataforma web e da aplicação móvel onde é possível consultar os parâmetros relevantes para aferir os riscos referidos.

Introdução

Tal como acontece a nível mundial, também em Portugal, o transporte de bens por via marítima tem mostrado uma clara tendência de crescimento. Para aumentar a competitividade portuária e valorizar a sua posição estratégica na fachada ibero-atlântica, as autoridades responsáveis pelo porto de Sines têm promovido e participado em projetos de investigação e desenvolvimento para melhorar a gestão do risco associado ao incremento do movimento de navios neste porto. Exemplo disso é o projeto BlueSafePort, financiado pelo Fundo Azul, e cujo objetivo é o desenvolvimento de um sistema para prever e alertar da ocorrência de riscos para a navegação em zonas portuárias, para que estes possam ser atempadamente mitigados.

Este tipo de sistemas só é possível pela exatidão atingida com modelos de previsão de condições meteo-oceanográficas a nível regional e local, que são capazes de fornecer, com alguns dias de antecedência, estimativas para as variáveis de relevo para o desempenho de navios em manobras de entrada e saída de portos, bem como para o comportamento de navios amarrados em terminais portuários. Com aquelas estimativas, e com modelos numéricos ajustados à realidade de cada porto, é possível identificar com alguma antecedência a ocorrência de situações perigosas para navios em manobra ou amarrados e que são merecedoras da emissão de avisos para que as entidades responsáveis implementem as medidas já estabelecidas para mitigar aqueles riscos.

Pretende-se que o sistema SAFEPORT forneça, numa base diária, previsões e alertas de situações de emergência associadas a navios em manobra e amarrados, devidas a condições meteo-oceanográficas extremas. Os níveis de risco correspondentes àquelas situações basear-se-ão em critérios de segurança e de operacionalidade.

O protótipo do sistema foi desenvolvido para o Porto de Sines e encontra-se atualmente em fase de testes e validação. O protótipo está implementado na plataforma web do HIDRALERTA (Poseiro, 2019, Pinheiro *et al.*, 2020), desenvolvida inicialmente para tratar dos riscos associados ao galgamento de estruturas de proteção costeira ou portuária. Além desta plataforma, o sistema SAFEPORT encontra-se implementado numa aplicação para dispositivos móveis, para divulgar

por todos os interessados uma série de parâmetros de relevo para a segurança e operação dos navios em manobra e amarrados no interior do porto, permitindo aferir os riscos associados àquelas vertentes da atividade portuária.

Neste trabalho apresenta-se o sistema SAFEPORT. Depois desta secção de introdução, descrevem-se as diversas fases do desenvolvimento do sistema, bem como a arquitetura do sistema e o fluxo e tratamento de dados no mesmo. Esta secção inclui ainda uma breve descrição dos modelos numéricos já implementados no protótipo do porto de Sines e o encadeamento destes modelos. Na secção seguinte, apresenta-se o trabalho já realizado na componente de divulgação dos resultados do sistema. Termina a comunicação um conjunto de considerações finais sobre o sistema SAFEPORT.

Desenvolvimento e Arquitetura

O SAFEPORT é um sistema que fornece previsões a 72 horas com intervalos de 3 horas da agitação marítima, das condições de vento e da maré, assim como das consequências destas variáveis meteo-oceanográficas nos movimentos dos navios, em manobra de entrada ou saída do porto ou amarrados nos vários terminais do porto. Os níveis de risco associados baseiam-se em critérios de segurança e de operacionalidade estabelecidos, nomeadamente, para os movimentos do navio e para os esforços nos elementos do sistema de amarração.

O sistema SAFEPORT está estruturado em 4 módulos (Figura 1): I – Caracterização da Agitação Marítima; II – Navegação em Zonas Portuárias; III – Monitorização e IV – Avaliação e Previsão do Risco.

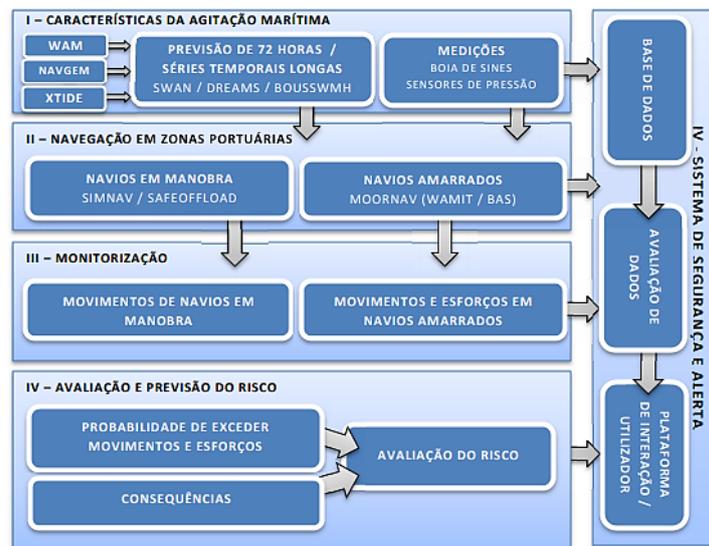


Figura 1. Arquitetura do sistema SAFEPORT.

O objetivo do módulo I é a caracterização da agitação marítima em vários pontos da zona portuária, em termos da altura significativa (H_s), do período de pico (T_p) e da direção média (θ_m) dos estados de agitação.

O módulo II simula o comportamento dos navios, quer em manobra quer amarrados, fornecendo séries temporais dos movimentos dos navios, bem como dos esforços nos elementos do sistema de amarração (amarras e defensas).

O módulo III trata da recolha e tratamento dos dados recolhidos *in situ* e que são necessários para validar os resultados produzidos pelos modelos numéricos.

O módulo IV trata da análise qualitativa do risco associado a valores excessivos dos movimentos

dos navios e dos esforços nos sistemas de amarração dos navios. Esta análise produz um grau de risco que resulta do produto do grau de ocorrência, estabelecido a partir de intervalos para a probabilidade de ocorrência do acontecimento perigoso, pelo grau de consequência associado a esse acontecimento.

As etapas consideradas no desenvolvimento do sistema SAFEPORT são as seguintes:

1. Recolha, levantamento e tratamento de dados;
2. Desenvolvimento e adaptação dos modelos;
3. Implementação do sistema num protótipo operacional;
4. Desenvolvimento das aplicações web e mobile.

Recolha, levantamento e tratamento de dados:

A primeira etapa inclui a recolha dos dados necessários ao funcionamento dos modelos numéricos a utilizar no sistema SAFEPORT, nomeadamente a batimetria da bacia portuária e da região adjacente (Figura 2), as características dos contornos da bacia portuária de modo a determinar os coeficientes de reflexão das ondas (Figura 2).

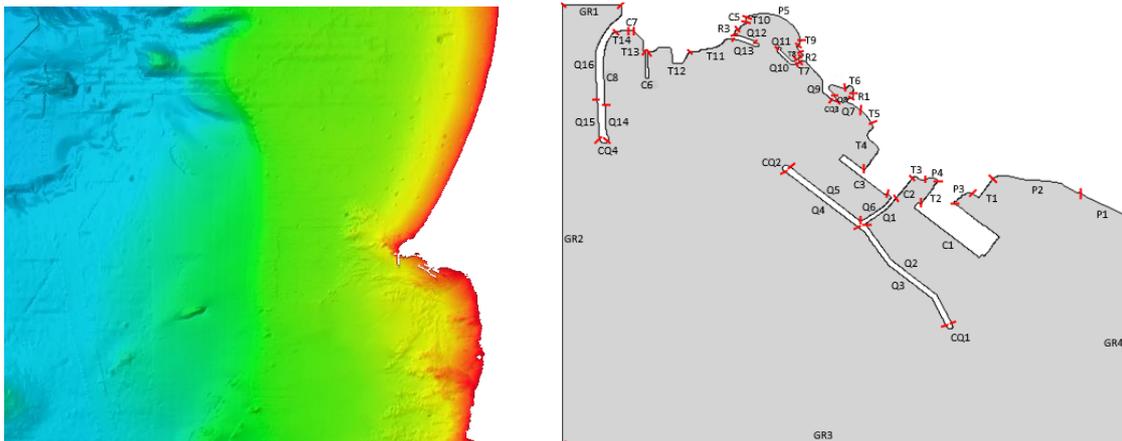


Figura 2. Batimetria na zona envolvente do Porto de Sines e contorno da bacia portuária.

Nesta etapa são também estabelecidos os procedimentos para obtenção das estimativas das características da agitação marítima, dos campos de vento, bem como dos níveis de maré na região de interesse, e que serão dados de entrada dos modelos numéricos para caracterização local da agitação marítima ao longo do trajeto dos navios em manobra ou nos terminais onde os navios estão amarrados. A última tarefa desta fase trata da recolha e tratamento dos registos de agitação marítima, obtidos com sensores de pressão colocados no interior do porto, e dos registos dos movimentos de um navio amarrado, obtidos com um giroscópio colocado nesse navio. Estes dados irão permitir a afinação do sistema tornando-o o mais fiável e robusto possível.

Assim como o HIDRALERTA, o sistema SAFEPORT descarrega, diariamente, os valores medidos no dia anterior na boia ondógrafo, denominada Sines 1D, que está instalada sobre a batimétrica -90 m (ZH), localizada em frente ao Porto de Sines (Figura 3). Em rigor, são descarregadas as características dos estados de agitação medidos na boia, nomeadamente, a direção média do período de pico e a altura significativa obtidas das medições com 30 minutos de duração realizadas pela boia.

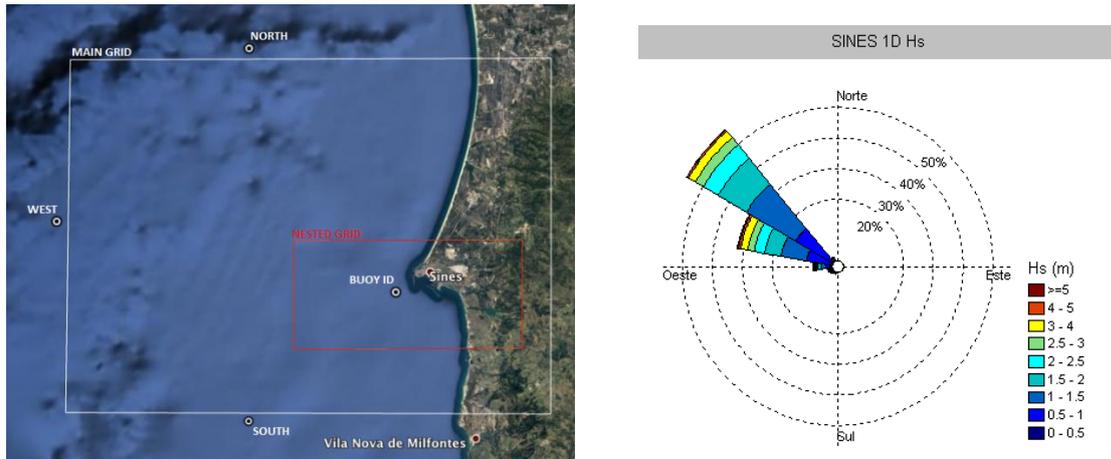


Figura 3. Regime de agitação na Boia de Sines, com base em dados entre 1988-2018.

Uma vez que o SAFEPORT utiliza as previsões fornecidas pelo ECMWF para as características dos estados de agitação foi feita uma análise de comparação entre os registos da Boia de Sines com as estimativas extraídas, no nó de cálculo mais próximo, de duas bases de dados distintas, ERA4 e ERA5, Figura 4.

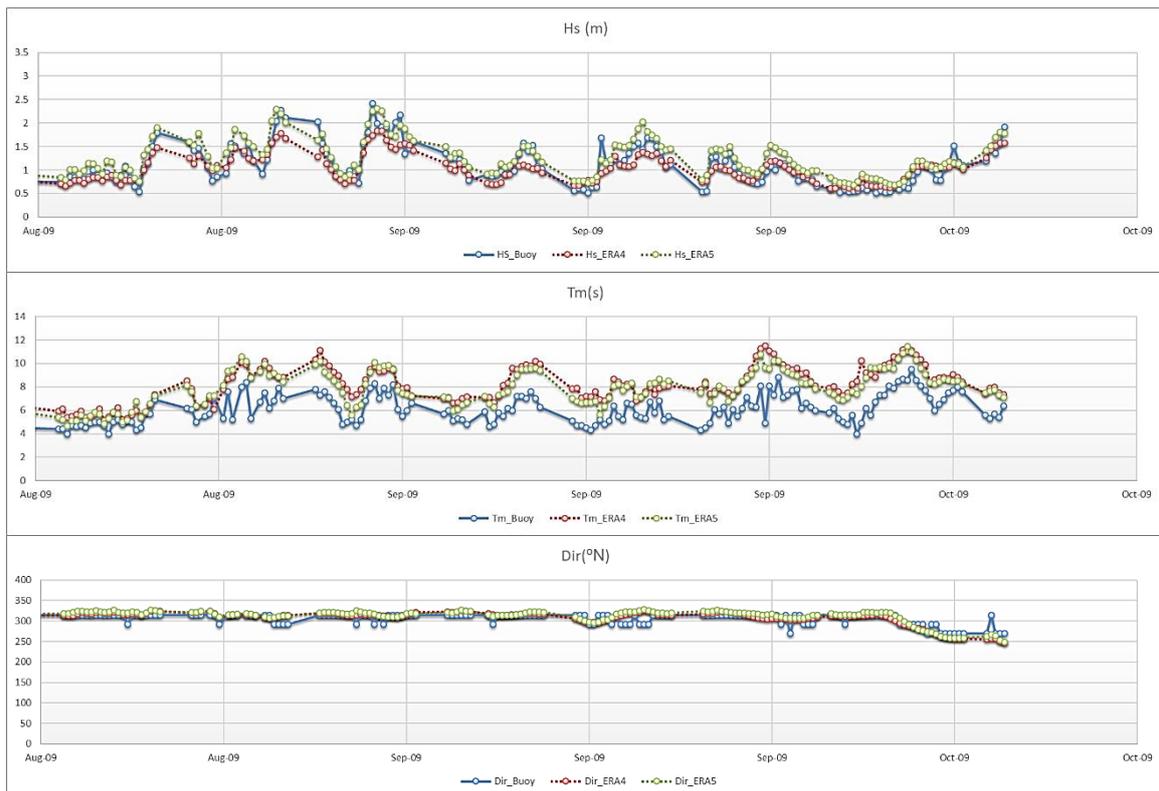


Figura 4. Comparação dos registos da Boia (altura significativa, Hs; Período médio, Tm; Direção, Dir) com as previsões obtidas no ponto mais próximo do ECMWF, utilizando dois *datasets*: Era4 e Era5. Período de agosto a setembro de 2009.

Depois de estimar com o modelo SWAN as características da agitação marítima num conjunto de pontos mais próximo da costa, extraiu-se um desses nós de cálculo do SWAN que está junto da posição da boia ondógrafo o que permitiu comparar as simulações do SWAN com as



medições da boia ondógrafo. É o que pode observar-se na Figura 5. Destas comparações resulta a validação das previsões meteo-oceanográficas do sistema SAFEPORT.

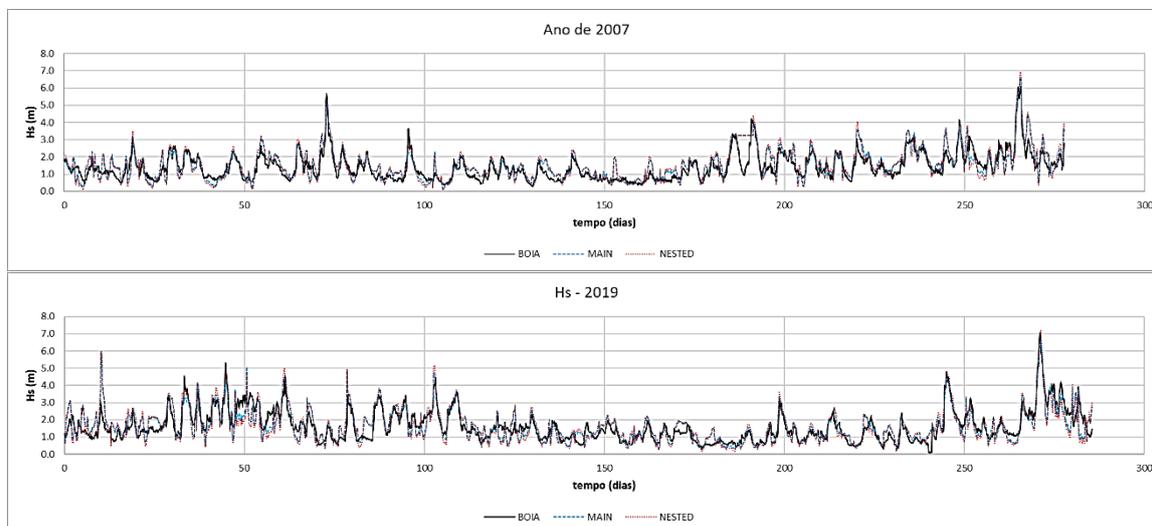


Figura 5. Comparação dos registos da boia Sines 1D com os resultados do modelo numérico SWAN (extraídos da malha principal - Main e da malha encaixada - Nested), nos anos de 2007 e 2019.

Para a comparação dos dados da boia com os resultados numéricos, Tabela 1, calculou-se a o coeficiente de correlação dado pela equação:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Onde x_i são os valores medidos na boia (referência), y_i são os valores dos modelos numéricos, \bar{x} é a média dos valores medidos e n é o número de medições.

Tabela 1 – Coeficiente de correlação das previsões dos modelos numérico WAM do ECMWF com as medições da boia de Sines.

	Hs			Tm			Dir		
	ECMWF		SWAN	ECMWF		SWAN	ECMWF		SWAN
	ERA4	ERA5		ERA4	ERA5		ERA4	ERA5	
r	0.94	0.95	0.92	0.86	0.89	0.77	0.96	0.99	0.74

Relativamente às previsões do ECMWF, verificou-se que a correlação é muito forte no que diz respeito às alturas de onda, Hs, e direções, Dir, e é forte no que diz respeito aos períodos das ondas, Tm. As previsões constantes na base de dados ERA5 tem uma concordância superior aos da ERA4.

Relativamente aos resultados das simulações com o modelo numérico SWAN, verificou-se que a correlação continua a ser muito forte para as alturas de onda e forte para os períodos e direções. Estes resultados mostram que o modelo numérico foi bem calibrado e produz resultados coerentes com a realidade observada, embora haja espaço para melhorar, o que será objeto de aprofundamento.

Desenvolvimento e adaptação dos modelos

Modelos Numéricos

Na segunda etapa faz-se o encadeamento dos modelos numéricos SWAN (Booij *et al.*, 1999) e DREAMS (Fortes, 2002) para a propagação das estimativas dos estados de agitação previstos



pelo modelo numérico WAM (WAMDI Group, 1988) levando em conta as estimativas dos campos de vento previstos pelo modelo numérico NAVGEM (Reynolds *et al.*, 2011) para a região em estudo. É também nesta etapa que são preparados os modelos para simulação do comportamento do navio em manobra e amarrado. Relativamente ao comportamento do navio amarrado, já estão implementados os modelos numéricos WAMIT (Korsemeier *et al.*, 1988) e BAS (Mynett *et al.*, 1985). Por último, são efetuadas simulações numéricas e testes sistemáticos para validar os resultados com medições *in situ*.

O sistema SAFEPORT funciona num cluster de computadores e foi construído em linguagem de programação Python, através de um conjunto de *scripts* que tratam da recolha automatizada da informação de agitação marítima necessária aos modelos numéricos, da execução dos modelos numéricos e criação de layouts com os resultados daqueles modelos e os alertas gerados pelos mesmos, assim como o armazenamento sistemático dos resultados obtidos. A Figura 6 apresenta exemplos layouts dos modelos supramencionados e dos alertas emitidos pelo sistema.

As previsões do modelo WAM do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (Persson, 2001), apareceram como a escolha natural da informação de base para a caracterização da agitação marítima a utilizar como dados do modelo SWAN devido a facilidade de aninhamento deste modelo naquele (SWAN, 2007). O modelo WAM fornece previsões diárias, para as 72 horas seguintes, dos parâmetros de agitação marítima necessários para simular o comportamento de navios em manobra e amarrados.

O modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999) faz a propagação da agitação marítima do largo até a costa. Para este modelo é necessário estabelecer uma discretização para o espectro direcional, bem como malhas batimétricas. As condições de fronteira na malha batimétrica maior são as previsões das características dos estados de agitação fornecidas pelo ECMWF, os campos de ventos utilizados no modelo SWAN resultam do modelo NAVGEM (Reynolds *et al.*, 2011) e são também fornecidos pelo ECMWF, enquanto os níveis de maré, considerados constantes em todos os pontos do domínio do SWAN, resultam do modelo XTide (Flater, 1998). No SAFEPORT o modelo SWAN funciona em modo estacionário, tendo sido calibrados todos os parâmetros necessários a este funcionamento.

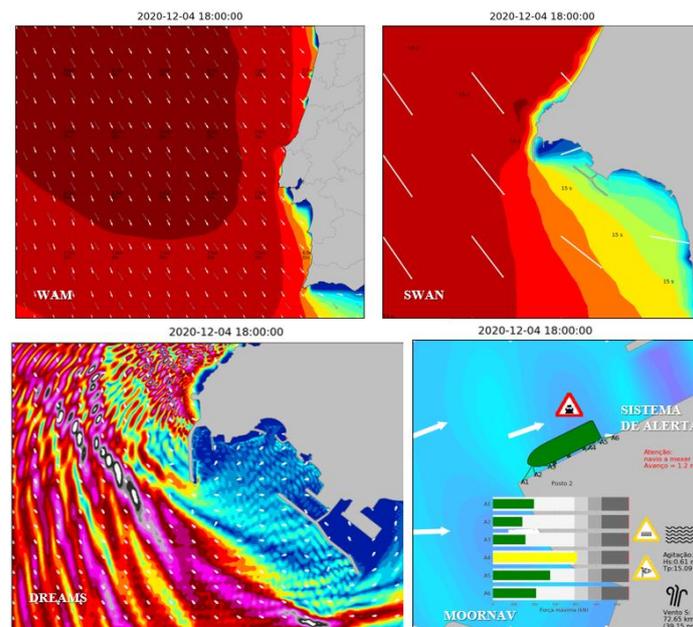


Figura 6. Representação gráfica dos resultados dos modelos implementados no SAFEPORT.



A transferência das características da agitação marítima para dentro do porto é realizada com o modelo DREAMS (Fortes, 2002). Para este, é necessário criar, com a ferramenta GMALHA (Pinheiro, 2008), uma malha de elementos finitos que caracterize a zona portuária, em termos da morfologia dos seus fundos e da sua fronteira sólida. Como este é um modelo para a propagação de ondas monocromáticas, as condições de fronteira no domínio deste modelo são definidas a partir da altura significativa, do período médio de zero ascendente e da direção média do período de pico nos pontos de cálculo do SWAN próximo da fronteira do DREAMS. O modelo DREAMS fornece as características da agitação marítima necessárias para avaliar o comportamento dos navios amarrados.

O módulo MOORNAV (Santos, 1994), é constituído pelo modelo WAMIT, que estima a resposta no domínio da frequência do navio livre, e pelo modelo BAS que fornece as séries temporais com as estimativas dos movimentos do navio amarrado e dos esforços nos seus sistemas de amarração. A passagem do modelo WAMIT para o modelo BAS implica a definição das funções de resposta a impulso, a partir dos coeficientes de amortecimento, e dos coeficientes de massa adicionada para frequência infinita, obtidos dos coeficientes de massa adicionada do domínio da frequência e daquelas funções de resposta a impulso. As séries temporais das forças exercidas pela agitação incidente no navio amarrado são obtidas a partir das forças do problema de difração calculadas pelo WAMIT para várias frequências e ângulos de incidência. Todos estes resultados do modelo numérico WAMIT, são dados de entrada no sistema SAFEPORT, não sendo o modelo WAMIT executado no âmbito do SAFEPORT. Isso acontece apenas para o modelo BAS, em que um conjunto de *scripts* trata da configuração do sistema de amarração, das ondas incidentes no navio amarrado e do processamento dos resultados obtidos para que o sistema SAFEPORT possa emitir os alertas relativos à navegação.

Avaliação do risco

Os resultados dos modelos numéricos implementados no sistema SAFEPORT permitem a avaliação de risco associados aos movimentos e às forças nos elementos do sistema de amarração dos navios, induzidos pela agitação marítima, vento e correntes (Tabela 1). Neste momento já está implementada a avaliação dos riscos associados aos movimentos dos navios amarrados e das forças nos cabos de amarração (Tabela 1).

Tabela 1. Código de cores e símbolos convencionado no sistema SAFEPORT para os níveis de perigo relativos ao movimento dos navios e as forças nos cabos de amarração.

Fenómenos	Níveis de perigo			
	0	1	2	3
Movimento dos Navios				
Forças nos cabos de amarração do navio				

A avaliação do risco dos navios amarrados é realizada através da definição de 3 níveis de perigo para os movimentos dos navios (de 0 a 2) e de 4 níveis para as forças nas suas amarras (de 0 a 3).

Relativamente aos movimentos dos navios amarrados, 0 corresponde a nenhum perigo (símbolo verde), 1 corresponde a uma situação de restrição das operações de carga e descarga (símbolo amarelo) e 3 corresponde ao nível máximo de alerta (símbolo vermelho). Os limites impostos aos movimentos dos navios são os recomendados em PIANC (1995) e são apresentados na Tabela 2).



Quanto às forças nos cabos de amarração dos navios, os níveis de risco dependem da carga máxima de rotura (com o acrónimo MBL na designação inglesa) dos cabos de amarração (OCIMF, 1992). 0 corresponde a nenhum risco (símbolo verde), 1 corresponde a 50% da MBL (símbolo amarelo), 2 corresponde a 80% da MBL (símbolo laranja) e 3 corresponde a 100% da MBL (símbolo vermelho).

Tabela 2. Limites pré-estabelecidos para os movimentos dos navios amarrados (PIANC, 1995).

Tipo de Navio	Avanço	Deriva	Abatimento	Balanço	Guinada
	(m)	(m)	(m)	(°)	(°)
Petroleiro	2.5	2.0	1.5	4.0	2.0
Porta-contentores	0.5	0.3	0.4	1.5	0.5
Cargueiro Geral	0.3	0.2	0.1	-	-

Implementação do sistema num protótipo operacional

A terceira etapa trata da implementação do sistema num protótipo operacional, o Porto de Sines, que englobará duas rotas de acesso dos navios (uma à zona do terminal de granéis líquidos, protegida pelo molhe Oeste; e outra à zona dos terminais de contentores, protegido pelo molhe Leste) e ainda três navios amarrados em três zonas distintas do porto (um petroleiro no terminal de granéis líquidos; um navio de carga geral no terminal multiusos; e um porta-contentores, no terminal de contentores ou terminal XXI) (Figura 7).



Figura 7. Navios implementados no sistema SAFEPORT para o Porto de Sines.



Figura 8. Localização dos terminais TGL, TMS e TCS e respetivos cascos dos navios painelizados.

Para a implementação dos modelos numéricos de comportamento de navios é necessário discretizar os cascos dos navios numa superfície curva. Para tal são necessários os planos dos navios a simular que são utilizados para construir os painéis que compõem a superfície do casco.

O casco do petroleiro foi discretizado com 1004 painéis, o cargueiro geral com 1992 painéis e o porta-contentores com 3464 painéis (Figura 8). A ferramenta utilizada foi o NPP, sigla para Pré-Processador Náutico (Santos, 1994).

As simulações WAMIT foram realizadas para as possíveis direções de onda que se aproximam de cada terminal e uma faixa de 89 frequências. Uma vez calculados os coeficientes de amortecimento e de massa adicionada dos navios, foram obtidas as funções de resposta ao impulso, bem como as massas adicionadas de frequência infinita (Figura 9).

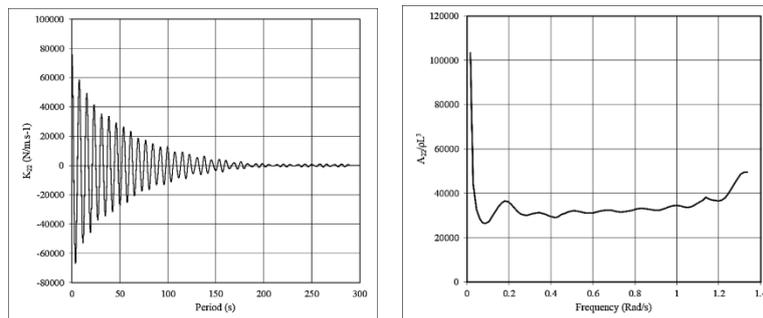


Figura 9. Função de resposta a impulso (esq.) e massa adicionada para frequência infinita (dir.) para o navio de carga geral para o modo de movimento $j,k = 2,2$.

Para completar a montagem das equações de movimento do navio é necessário ainda conhecer as relações constitutivas dos elementos do sistema de amarração e as coordenadas das suas extremidades.

Para o petroleiro e o navio de carga geral, foram definidas 8 linhas de amarração agrupadas em dois lançantes e dois springs e ainda com 3 defensas. Para o modelo de navio porta-contentores, foram definidos um total de 10 linhas de amarração e 5 defensas (Figura 10).

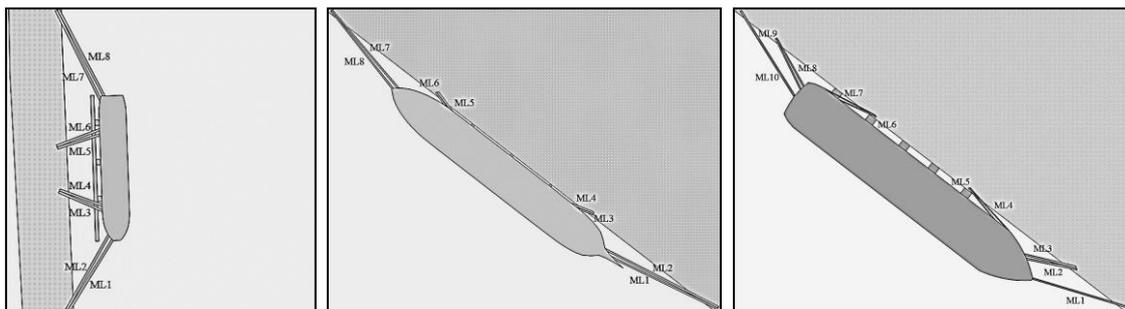


Figura 10. Localização dos terminais TGL, TMS e TCS e respetivos cascos dos navios painelizados.

Desenvolvimento das aplicações web e mobile.

Por último, a quarta etapa trata do desenvolvimento das interfaces com os utilizadores do sistema SAFEPOR, nomeadamente a aplicação que vai gerir a interface web e a interface em telemóveis.

Os resultados gerados assumem diferentes formas, nomeadamente, gráficos, mapas e relatórios. Estes são então transmitidos à componente de interação do utilizador para permitir a avaliação da situação. No âmbito desta atividade, iniciou-se o desenvolvimento a plataforma web



(página HTML, Figura 11) e da aplicação móvel (Figura 12) onde é possível aceder e visualizar de forma gráfica e numérica as previsões das condições de agitação marítima, de vento, de correntes e de ocorrência de ondas longas, e também monitorizar em tempo real as possíveis situações de emergência. Nas plataformas é ainda possível visualizar os alertas para a navegação e aceder à base dados do sistema e às comparações entre as grandezas observadas e as previstas pelas componentes do SAFEPORT.



Figura 11. Ferramenta web de divulgação de resultados.

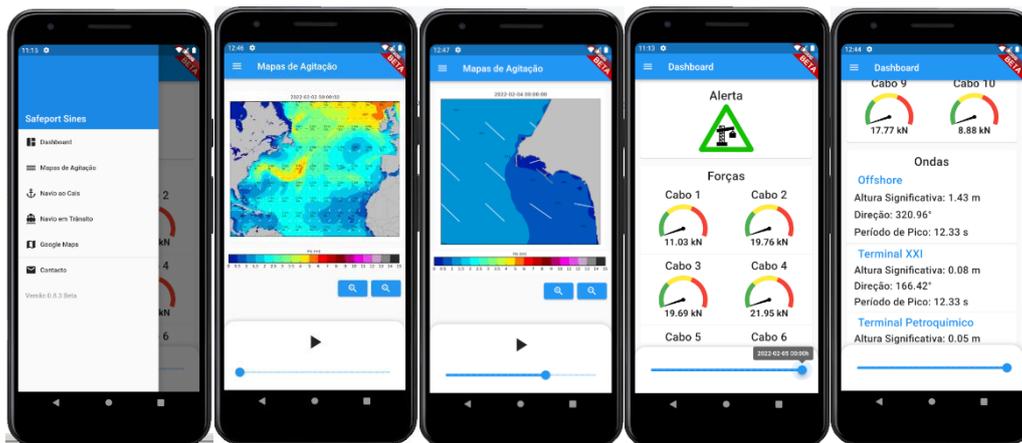


Figura 12. Ferramenta móvel de divulgação de resultados.

Como resultado do sistema, são construídos boletins diários com as previsões a 3 dias dos resultados do sistema em termos de agitação e navegação, Figura 13. Estes boletins são enviados de forma automática por email diariamente a uma lista de endereços eletrónicos pré-estabelecida das entidades interessadas.



Previsão de apoio à Navegação

Sines

14-01-2022 - CAIS 10

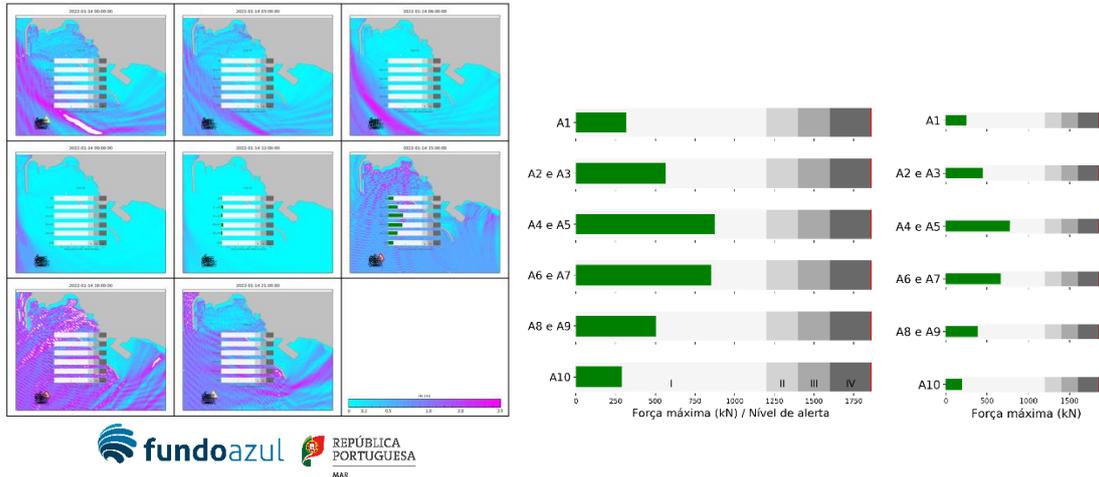


Figura 13. Boletim de previsão de apoio à navegação emitido no dia 14 de janeiro de 2022.

Este desenvolvimento baseia-se numa plataforma já existente, o sistema HIDRALERTA, que tem vindo a ser desenvolvido ao abrigo de diversos projetos de investigação anteriores e em curso. Neste momento, o sistema HIDRALERTA já engloba 3 portos no arquipélago dos Açores e está a ser desenvolvido para 4 locais na costa ocidental portuguesa: Peniche, Ericeira, Costa da Caparica e Porto de Sines. A aplicação ao Porto de Sines enquadra-se no âmbito do projeto BlueSafePort mas terá algumas diferenças e particularidades inerentes ao Porto em questão e com funcionalidades adicionais, como por exemplo a simulação de navios em manobra.

O acesso à página do Porto de Sines poderá ser feito através da página principal do HIDRALERTA mas em breve terá um site próprio. Esta plataforma terá a capacidade de enviar alertas automáticos às entidades responsáveis sempre que situações de emergência aconteçam com a indicação dos planos de emergência a serem acionados.

Considerações Finais

Para além de um sistema de segurança, o SAFEPORT também é um sistema de apoio à decisão e uma ferramenta informática para monitorização e otimização de operações marítimas em ambiente portuário como, por exemplo, sistemas de otimização de definição de rotas, acostagem e amarração. O objetivo final será reduzir a vulnerabilidade do porto, aumentando a sua capacidade de planeamento e respostas eficientes a situações de emergência. Além disso, este projeto visa proporcionar maior acesso à informação e à comunicação, fornecendo informações específicas sobre um navio e/ou terminal portuário específico.

O protótipo do sistema foi desenvolvido para o Porto de Sines, mas o sistema é flexível e escalável de modo a poder ser utilizado em outros portos nacionais ou internacionais, tendo o potencial de ser otimizado continuamente. Todos os eventos reportados e/ou medidos servirão de experiência de aprendizagem e os dados registados podem ser usados para melhorar os modelos de previsão, ajustar o posicionamento dos sensores e fornecer informações sobre as causas, a evolução e a frequência de eventos como mau posicionamento e consequente rebentamento de cabos, movimentos excessivos de navios e desvios nas rotas traçadas.



Agradecimentos

Os autores agradecem aos projetos BLUESAFEPOR (ref: FA_04_2017_016) e ECOMARPORT (ref: PO INTERREG MAC 2014-2020), à Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída (INCD) pelo acesso à infraestrutura digital de suporte à investigação e à Administração dos Portos de Sines e do Algarve.

Referências Bibliográficas

- Booij, N.R., Holthuijsen, L.H. e Ris, R.C. (1996). The SWAN wave model for shallow water. ICCE'96: 668-676. Orlando.
- Flater, D. (1998). XTide Manual: Harmonic Tide Clock and Tide Predictor. Technical Report, USA. URL: <https://flaterco.com/xtide>
- Fortes, C.J.E.M. (2002). Transformações não lineares de ondas em portos. Análise pelo método dos elementos finitos. Tese de doutoramento. Lisboa: IST/DEM.
- Korsemeier, F.T., Lee, C.H., Newman, J.N. e Sclavounos, P.D. (1988). The analysis of wave effects on tension-leg platforms. Proc. 7th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering: 1-14. Texas: Houston.
- Mynett, A.E., Keunig, P.J. e Vis, F.C. (1985). The dynamic behaviour of moored vessels inside a harbour configuration. Int. Conf. on Numerical Modelling of Ports and Harbour 23-25: Cranfield: BHRA. The Fluid Engineering Centre, April 1985. England: Birmingham.
- Persson, A. (2001). User Guide to ECMWF Forecast Products. Meteorological Bulletin M3.2. ECMWF: 115.
- Pinheiro, L. V.; Fortes, C. J. e Fernandes J. L. (2008). Gerador de Malhas de Elementos Finitos para a Simulação Numérica de Propagação de Ondas Marítimas. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería (RIMNI) 24(4).
- Pinheiro, L., Fortes, C., Reis, M. T., Santos, J. e Soares, C. G. (2020). Risk forecast system for moored ships. In proceedings of vICCE (virtual International Conference on Coastal Engineering). 6-9 de Outubro.
- Poseiro, P. (2019). Forecast and Early Warning System for Wave Overtopping and Flooding in Coastal and Port Areas: Development of a Model and Risk Assessment. Tese de doutoramento: Instituto Superior Técnico. Universidade de Lisboa.
- Reynolds, C. A., McLay, J. G., Goerss, J. S., Serra, E. A., Hodyss, D. & Sampson, C. R. (2011). Impact of Resolution and Design on the U.S. Navy Global Ensemble Performance in the Tropics, Monthly Weather Review 139: 2145-2155.
- Santos, J.A. (1994). MOORNAV – Numerical model for the behaviour of moored ships. Final report, Projecto NATO PO-Waves (3/94-B). Lisbon.
- SWAN team – SWAN User Manual. Delft University of Technology. The Netherlands, 2007.
- WAMDI Group (1988). The WAM Model - A third generation ocean wave prediction model. J. Physical Oceanography (18): 1775-1810.