

## **AVALIAÇÃO DO RISCO ASSOCIADO A MOVIMENTOS VERTICAIS DE UM NAVIO EM MANOBRA NO PORTO DA PRAIA DA VITÓRIA**

João Alfredo SANTOS (1); Conceição Juana E.M. FORTES (2); Pedro POSEIRO (2);  
Maria Teresa REIS (2); João ÂNGELO (2); Sara RODRIGUES (2)

### **Resumo**

Neste trabalho descreve-se a aplicação da metodologia, desenvolvida no LNEC, para a avaliação do risco associado à navegação no porto da Praia da Vitória, ilha Terceira. Esta metodologia envolve a determinação da agitação marítima no porto, dos seus efeitos em termos de movimentos verticais do navio e da avaliação do risco associado à ultrapassagem dos limiares pré-definidos para esses movimentos.

As estimativas das características da agitação em pontos próximos da ilha Terceira foram obtidas com o modelo de escala regional WAVEWATCH III para o período de 01/01/2008 a 31/12/2012. Estes valores foram transferidos para o interior do porto com recurso aos modelos numéricos SWAN e DREAMS, permitindo a caracterização da agitação marítima no interior do porto.

Na determinação dos movimentos verticais do navio em resposta à agitação no interior do porto, utilizou-se o modelo numérico WAMIT, que permite determinar a resposta do sistema navio-ondas em termos de amplitude do movimento de qualquer ponto do navio, para um conjunto de períodos de ondas, profundidades e ângulos entre o rumo do navio e a direção de propagação da agitação marítima nele incidente. Com efeito, avalia-se os espectros de resposta de um navio (“N/M Fernão Gomes”) para a sequência de estados de agitação estimados no porto da Praia da Vitória, ao longo do período considerado. Testaram-se dois percursos de entrada no porto, sendo que em cada percurso se analisaram quatro pontos, e avaliou-se a influência da velocidade de avanço do navio no número esperado de vezes que é ultrapassado um limiar de amplitude de oscilação vertical pré-definido.

Depois de determinados os movimentos verticais do navio para os vários percursos, calculou-se o grau de risco associado à excedência de limiares pré-estabelecidos, através da análise quantitativa da probabilidade de excedência desses limiares e de uma análise qualitativa das consequências associadas a esse fenómeno.

**Palavras-chave:** Agitação marítima, Navegação, Risco, Sistema, Zonas portuárias, Praia da Vitória

<sup>1</sup> Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

<sup>2</sup> Laboratório Nacional de Engenharia Civil

## 1. INTRODUÇÃO

A agitação marítima pode condicionar diversas vertentes das atividades portuárias. De entre as relacionadas com navios destacam-se os movimentos verticais do navio durante as manobras de entrada ou de saída do porto. As consequências da ocorrência de movimentos verticais excessivos justificam a importância crescente do desenvolvimento de metodologias capazes de avaliar o risco neste tipo de situações.

Neste sentido, tem vindo a ser desenvolvida uma metodologia para a avaliação do risco associado à navegação no interior dos portos que envolve a determinação da agitação marítima, dos seus efeitos em termos de movimentos do navio e da avaliação do risco associado à ultrapassagem dos limiares pré-definidos para os movimentos do mesmo, Neves *et al.* (2010, 2012) e Santos *et al.* (2011).

Esta metodologia faz parte de um sistema integrado de modelação costeira e portuária, GUIOMAR (Zózimo *et al.*, 2008 e Neves *et al.*, 2010, 2012), que foi a base do presente sistema HIDRALERTA – Navegação - (Figura 1), que permite a previsão, alerta e avaliação de risco associado à navegação em zonas portuárias, a partir de medições/previsões da agitação marítima nessas zonas. Note-se que, paralelamente, está a ser desenvolvido um sistema homónimo para a avaliação do risco associado ao galgamento e inundação de zonas marítimas e portuárias (Poseiro *et al.*, 2013), cujas linhas gerais são muito semelhantes.

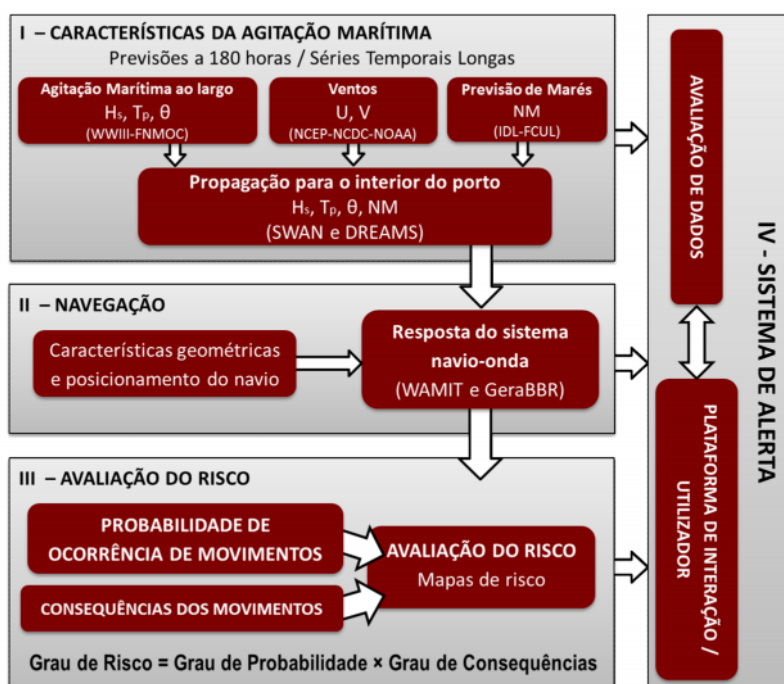


Figura 1. Esquema do Sistema HIDRALERTA - Navegação.

No sistema HIDRALERTA - Navegação utilizam-se vários modelos numéricos de geração, propagação e dissipação da agitação marítima, os modelos SWAN (Booij *et al.*, 1999) e DREAMS (Fortes, 2002), bem como o modelo numérico WAMIT (Newman e Sclavounos, 1988) para o cálculo dos movimentos verticais de um ponto do navio. Com base nestes resultados, efetua-se o cálculo do grau de risco associado à excedência de um limiar pré-estabelecido para um determinado movimento vertical, a

partir da análise quantitativa da probabilidade de ocorrência dessa excedência e da análise qualitativa do grau de consequências dessa ocorrência.

O presente trabalho, é uma continuação do trabalho efetuado por Neves *et al.* (2010), Rodrigues *et al.* (2011a, b), Santos *et al.* (2011, 2013), aplicando-se a metodologia do HIDRALERTA - Navegação a uma série temporal sintetizada no porto da Praia da Vitória de maior extensão (5 anos) e com variação do nível de maré no tempo. Avaliou-se o risco para a navegação ao longo de dois trajetos de entrada de um navio ("N/M Fernão Gomes") neste porto e admitiram-se diferentes limiares para os movimentos verticais do navio ao longo desses trajetos, consoante seja no exterior ou no interior do porto.

As estimativas das características da agitação em pontos próximos da ilha Terceira foram obtidas com o modelo de escala regional WAVEWATCH III (Tolman, 1999) utilizando estimativas de ventos dos modelos NCEP Reanalysis 2 (Kanamitsu *et al.*, 2002), para o período de 01/01/2008 a 31/12/2012. Os níveis de maré foram fornecidos pelos modelos de análise harmónica da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), Antunes (2010), que não contabilizam os efeitos de sobrelevação meteorológica, tendo sido considerado para esse efeito a adição de um valor constante igual a 0.4 m. Com estes dados, forçou-se o modelo SWAN, que efetuou a transposição das estimativas de agitação ao largo para a entrada do porto. Partindo desta zona, calcularam-se com o modelo DREAMS as condições de agitação marítima nos diferentes pontos do interior do porto, que consistem nos valores de altura de onda significativa ( $H_s$ ), período de onda (médio,  $T_m$ , ou de pico,  $T_p$ ) e direção média ( $\Theta$ ).

Na determinação dos movimentos verticais do navio em resposta à agitação no interior do porto, utilizou-se o modelo numérico WAMIT (Newman e Scavounos, 1988) e avaliaram-se os espetros de resposta de um navio ("N/M Fernão Gomes") para a sequência de estados de agitação estimados no porto da Praia da Vitória, ao longo dos cinco anos, variando o nível de maré. Testaram-se dois percursos de entrada no porto, sendo que em cada percurso se analisaram quatro pontos, tendo-se avaliado também a influência da velocidade de avanço do navio no número de vezes que é ultrapassado um limiar de amplitude de oscilação vertical pré-definido.

Para realizar estes cálculos assume-se que a agitação marítima em cada estado de agitação em qualquer ponto ao longo dos trajetos do navio se pode caracterizar por um espectro do tipo JONSWAP. Conhecido o espectro da resposta, determina-se a altura significativa dos movimentos verticais do ponto de interesse do navio. Assumindo que o espectro de resposta é de banda estreita, pode utilizar-se a distribuição de *Rayleigh* para determinar a probabilidade de o mesmo ponto de interesse ter movimentos verticais cuja altura significativa está num dado intervalo. Depois de determinados os movimentos verticais do navio, calcula-se o grau de risco associado à excedência de um limiar pré-estabelecido. Esse grau de risco é dado pelo produto do grau de probabilidade de excedência desse limiar com o grau de consequências associadas a esse fenómeno.

Este trabalho é mais uma contribuição para melhorar as avaliações de risco realizadas previamente no porto da Praia da Vitória. Depois deste capítulo de introdução, descreve-se a área de estudo, a metodologia empregue e a aplicação dessa metodologia ao caso de estudo, Praia da Vitória. Para dois percursos de entrada no porto, determinam-se os graus de risco de movimentos verticais excessivos, obtidos a

partir de cinco anos de previsões da agitação marítima, utilizando um limiar de 1.5 m e 0.5 m para as alturas do mesmo movimento vertical de um ponto do navio, nas zonas exterior e interior, respetivamente. Avaliou-se também a influência da velocidade de avanço do navio nos resultados.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

O porto da Praia da Vitória localiza-se na costa Este da ilha Terceira, uma das nove ilhas do arquipélago dos Açores (Portugal), Figura 2. Trata-se de um pequeno porto protegido por dois molhes que definem uma baía aproximadamente retangular com cerca de 1.2 km x 2.4 km.

O porto da Praia da Vitória é a maior infraestrutura portuária dos Açores, e a segunda maior, a seguir à de Ponta Delgada, no que se refere ao movimento de navios e de mercadorias. O porto da Praia da Vitória apresenta vários cais e estruturas de atracagem que oferecem condições de manobra de trabalho e de abastecimento (água, eletricidade e combustível).



Figura 2. Porto da Praia da Vitória.

## 3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho tem como base a definição de risco como o produto da probabilidade de ocorrência de um acontecimento adverso pelo custo das consequências desse acontecimento. Neste trabalho, o acontecimento adverso para a navegação portuária dá-se quando a altura do movimento vertical de um ponto do navio em manobra excede um patamar pré-definido num dado ponto do trajeto da sua viagem de entrada no porto em estudo.

Para calcular esta probabilidade de ocorrência basta considerar a distribuição das alturas dos movimentos verticais calculados para uma amostra significativa de estados de agitação num dos pontos da trajetória. Embora não seja difícil estimar a probabilidade de ocorrência do acontecimento adverso, por uma questão de apresentação de resultados, é mais interessante atribuir um grau à mesma probabilidade de ocorrência, de acordo com o seu valor. Na Tabela 1 apresentam-se os graus adotados neste trabalho para a probabilidade de ocorrência do acontecimento considerado adverso.

**Tabela 1.** Probabilidade de ocorrência de movimentos verticais de um navio que excedem limiares pré-estabelecidos.

Descrição	Probabilidade de Ocorrência (Guia de Orientação)	Grau
Improvável	0 – 1%	1
Raro	1 – 10%	2
Ocasional	10 – 25%	3
Provável	25 – 50%	4
Frequente	> 50%	5

Nesta metodologia de avaliação do risco, a tarefa mais complexa é a atribuição de custos às consequências do acontecimento adverso. Para facilitar a definição desses custos, algumas organizações têm produzido diretivas que propõem a classificação do custo esperado de acordo com as consequências do acontecimento adverso para as pessoas, para o património (neste caso o navio e a sua mercadoria), para o ambiente e o ecossistema em que está inserido o porto e para a gestão portuária a nível de contratos económicos e transações comerciais. Na Tabela 2 apresenta-se uma dessas classificações baseada nas diretivas da *Maritime Safety Authority* (2004) da Nova Zelândia.

**Tabela 2.** Consequências da ocorrência de movimentos verticais de um navio que excedem limiares pré-definidos baseados nas diretivas da *Maritime Safety Authority* (2004) da Nova Zelândia.

Descrição	Consequências (Guia de Orientação)				Grau
	Pessoas	Património	Ambiente	Gestão Portuária	
Insignificantes	Existe a possibilidade de ferimentos muito ligeiros	Insignificante	Impacto ambiental desprezável (< 10 <sup>4</sup> €)	Insignificante (< 10 <sup>4</sup> €)	1
Reduzidas	Uma única lesão ligeira	10 - 10 <sup>2</sup> €	Pequenos derramamentos de óleo devidos a movimentos operacionais (10 <sup>4</sup> - 10 <sup>5</sup> €)	Má publicidade local para o porto (10 <sup>4</sup> - 10 <sup>5</sup> €)	2
Sérias	Múltiplas lesões ligeiras ou uma única lesão grave	10 <sup>2</sup> - 10 <sup>3</sup> €	Embarcação passível de ser limitada a uma zona de segurança do porto (10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup> €)	Má publicidade generalizada, restrições à navegação, possível encerramento parcial (10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup> €)	5
Muito Sérias	Muitas lesões graves ou uma perda de vida	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>4</sup> €	Esperados episódios de poluição dentro e fora do porto com potenciais perdas irreversíveis para o ambiente (10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup> €)	Má publicidade a nível nacional, encerramento temporário do canal de navegação afetando navegação no porto durante vários dias (10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup> €)	10
Catastróficas	Muitas perdas de vida	> 10 <sup>4</sup> €	Derrame de petróleo grave, necessária ajuda internacional, contaminação séria, perdas irreversíveis para o ambiente (> 10 <sup>7</sup> €)	Má publicidade internacional, encerramento do porto, navegação interrompida durante um longo período, perda considerável de comércio (> 10 <sup>7</sup> €)	25

Os valores do grau de Consequências foram atribuídos de forma que o valor do risco obtido traduza a importância do mesmo no que diz respeito ao seu controle e priorização.

Do produto do grau de Probabilidade de Ocorrência pelo grau de Consequências obtém-se o grau de Risco. Esta utilização do grau de Risco tem a vantagem de ser mais compacta e de facilitar a comparação de soluções para a limitação da ocorrência do acontecimento adverso ou das suas consequências, bem como para a classificação da aceitabilidade do Risco obtido.

Para cada navio e para cada um dos trechos da trajetória do navio no interior do porto, a metodologia proposta neste trabalho consiste em três passos fundamentais:

- Definição do regime de agitação marítima no centro de gravidade de cada trecho da trajetória do navio;
- Cálculo do movimento vertical de um ponto selecionado do navio excitado pelas ondas incidentes no navio;
- Cálculo do grau de risco associado à ultrapassagem do limiar pré-estabelecido para os movimentos verticais do navio através da análise quantitativa da probabilidade de excedência desse limiar e de uma análise qualitativa das respectivas consequências.

## 4. APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO

### 4.1 Descrição geral

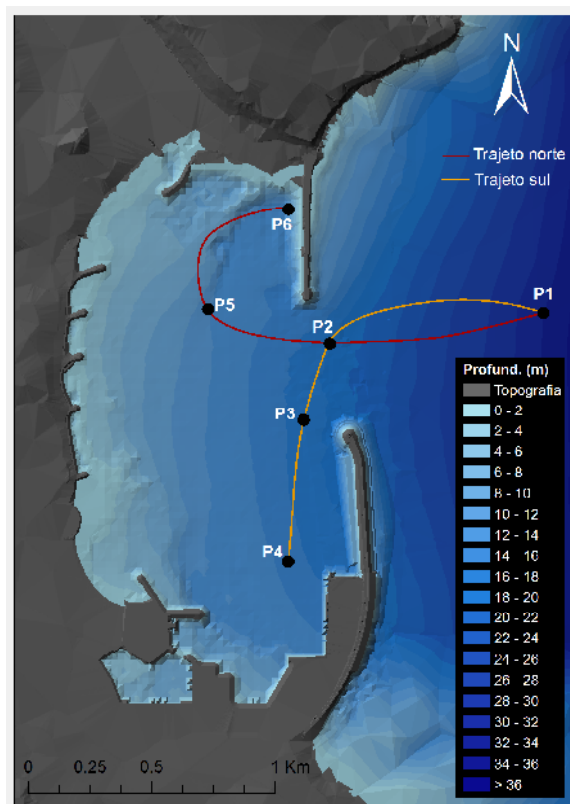
O objetivo deste trabalho é a avaliação do risco associado a movimentos verticais excessivos do navio “N/M Fernão Gomes” em dois trajetos de entrada no porto da Praia da Vitória.

Ambos os trajetos começam em frente à entrada do porto, no ponto P1 da Figura 3, e num deles o navio dirige-se para sul, terminando o seu percurso em frente ao cais 12 do porto da Praia da Vitória (Trajeto Sul), enquanto noutro termina em frente ao terminal de combustíveis da Base Aérea nº. 4 (Trajeto Norte). Em vez de se determinar a probabilidade de ocorrência em todos os pontos ao longo daqueles trajetos, consideraram-se apenas os centroides dos trechos em que se dividiu cada uma das etapas do percurso do navio em direção ao interior do porto.

Na Figura 3 apresentam-se os pontos considerados e na Tabela 3 listam-se as profundidades em cada um dos pontos identificados e o rumo do navio nos mesmos.

**Tabela 3.** Profundidades e rumos do navio nos centroides dos trechos em que foram divididos os percursos de entrada estudados.

	Trajeto Sul				Trajeto Norte			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P5	P6
<b>Profund. (m)</b>	37.90	19.72	17.93	15.40	37.90	19.72	12.51	12.02
<b>Rumo navio (º)</b>	270	225	225	180	270	270	315	0



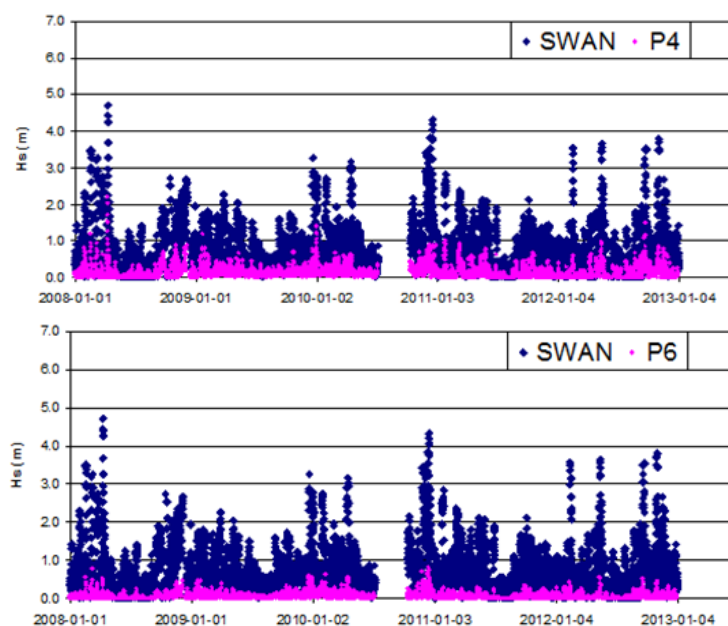
**Figura 3.** Trajetórias e centroides dos trechos em que se dividiu a zona varrida pelo navio “N/M Fernão Gomes” na manobra de entrada no porto da Praia da Vitória.

#### 4.2 Agitação marítima na entrada e no interior do porto

Na caracterização da agitação marítima ao largo do porto em estudo recorreu-se a modelos de previsão de escala regional. Assim, considerou-se um período de dados de agitação marítima entre 2008 e 2012 (5 anos), o efeito do vento local e a variação astronómica do nível de maré. Utilizaram-se as características da agitação marítima estimadas pelo modelo WAVEWATCH III (Tolman, 1999), as estimativas de ventos do modelo NCEP Reanalysis 2 (Kanamitsu *et al.*, 2002) e a variação do nível de maré astronómica do modelo da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), Antunes (2010). O nível de maré foi acrescido de uma sobrelevação meteorológica constante de 0.4 m. O modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999), primeiro, e o modelo DREAMS (Fortes, 2002), a seguir, permitiram o cálculo das condições de agitação na zona marítima do porto da Praia da Vitória e, mais concretamente, ao longo do Trajeto Sul e do Trajeto Norte.

Assim, obtiveram-se primeiramente os valores da agitação marítima ( $H_s$ ,  $T_m$  ou  $T_p$ , e  $\theta$ ) no ponto P1 (exterior ao porto) com o modelo SWAN, que foram transferidos para o interior do porto com o modelo DREAMS, correspondentes aos valores nos restantes pontos dos dois trajetos, P2 a P6 (Figura 3). Neste trabalho, o conjunto de dados utilizados perfaz um total de 6290 valores horários correspondentes a 5 anos de previsões, desde o dia 1 de janeiro de 2008 até 31 de dezembro de 2012, de 6 em 6 horas.

Na Figura 4 ilustra-se a evolução das séries temporais das estimativas da altura significativa nos pontos P1 (SWAN), P4 e P6 das duas trajetórias do navio. As figuras confirmam a expectativa de diminuição da altura significativa quando se passa da entrada do porto para o interior da zona abrigada.



**Figura 4.** Séries temporais das estimativas da altura significativa nos pontos P1 (SWAN), P4 e P6 das duas trajetórias do navio.

A Tabela 4 apresenta os valores dos parâmetros estatísticos (máximo, mínimo, média, desvio padrão e gama mais frequente) das variáveis que caracterizam a agitação marítima para todos os pontos (P1 a P6) nos dois trajetos de entrada do navio no porto.

**Tabela 4.** Parâmetros estatísticos da agitação marítima nos pontos P1 a P6.

Pontos	Grandeza	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão	Gama mais frequente
SWAN P1	$H_s$ (m)	4.72	0.00	0.66	0.61	[0-0.5] 53%
	$T_p$ (s)	16.7	2.0	8.0	3.0	[8-10] 31%
	(°)	339	25	76	36	[40-60] 46%
DREAMS P2	$H_s$ (m)	6.00	0.00	0.62	0.76	[0-0.5] 51%
	$T_p$ (s)	16.7	4.1	9.2	1.9	[8-10] 31%
	(°)	175	28	73	29	[40-60] 33%
DREAMS P3	$H_s$ (m)	6.17	0.00	0.53	0.67	[0-0.5] 56%
	$T_p$ (s)	16.7	4.1	9.2	1.9	[8-10] 31%
	(°)	210	16	57	22	[40-60] 27%
DREAMS P4	$H_s$ (m)	2.18	0.00	0.16	0.18	[0-0.5] 77%
	$T_p$ (s)	16.7	4.1	9.2	1.9	[8-10] 31%
	(°)	341	12	103	79	[20-40] 20%
DREAMS P5	$H_s$ (m)	5.03	0.00	0.28	0.47	[0-0.5] 56%
	$T_p$ (s)	16.7	4.1	9.2	1.9	[8-10] 31%
	(°)	213	64	110	18	[100-120] 32%
DREAMS P6	$H_s$ (m)	0.78	0.00	0.07	0.08	[0-0.5] 56%
	$T_p$ (s)	16.7	4.1	9.2	1.9	[8-10] 31%
	(°)	264	133	189	13	[180-200] 49%

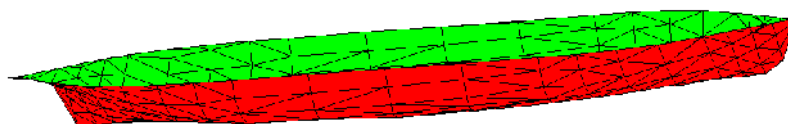


Da análise da Tabela 4 pode constatar-se a diminuição da altura significativa da agitação marítima do ponto P1 (no exterior do porto) para os pontos que se localizam mais para o interior. O valor médio de  $H_s$  atinge o máximo no ponto P1 com 0.66 m e o valor mínimo no ponto P6 com 0.07 m. Verifica-se também que os pontos P4 e P6 apresentam valores de  $H_s$  significativamente inferiores a P2, P3 e P5 que se localizam mais perto da entrada do porto, logo mais expostos às ondas incidentes.

Relativamente à direção das ondas, a Tabela 4 mostra que os pontos localizados perto da entrada do porto, P2 e P3, apresentam pouca variação na direção da onda relativamente à direção da onda incidente no porto. Por outro lado, os pontos mais protegidos, P4, P5 e P6, apresentam uma diferença maior face às direções das ondas incidentes.

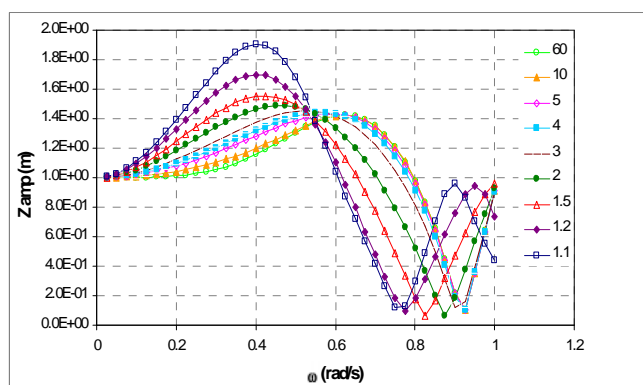
### 4.3 Resposta do navio à agitação incidente

O navio considerado foi o “N/M Fernão Gomes”, um navio com um comprimento de 114 m, uma boca de 19 m e um calado de 7 m. Começou-se por resolver no domínio da frequência, com o modelo WAMIT, os problemas de radiação e de difração do navio livre para um conjunto de 40 frequências igualmente distribuídas entre 0.025 rad/s e 1.0 rad/s (períodos entre 251.3 s e 6.28 s). A superfície molhada do casco do navio foi discretizada com 421 painéis como é mostrado na Figura 5. Deste exercício resultaram os coeficientes de massa adicionada e de amortecimento deste navio, bem como as forças exercidas pelas ondas no mesmo. Com estas grandezas foi possível montar e resolver as equações de movimento do navio e desses resultados obtiveram-se as funções de resposta em frequência do navio em termos da amplitude vertical no ponto de interesse no navio. No caso presente, as coordenadas desse ponto no referencial baricêntrico da Figura 5 são (45.5, 5.4, 0.0).



**Figura 5.** Divisão em painéis da superfície molhada do casco do navio “N/M Fernão Gomes”.

A Figura 6 ilustra a influência da relação profundidade da zona onde o navio está/calado na amplitude do movimento vertical do ponto já referido, para um ângulo de 30º entre o eixo longitudinal do navio e o vetor número de onda da onda incidente no navio.



**Figura 6.** Influência na amplitude do movimento vertical do ponto (45.5, 5.4, 0.0) do “N/M Fernão Gomes” da relação profundidade/calado, para um ângulo de 30º entre o eixo longitudinal do navio e o vetor número de onda da onda incidente no navio.

A figura mostra que a diminuição da profundidade implica um aumento do período onde ocorre o máximo da resposta, verificando-se também um ligeiro aumento do valor desta amplitude máxima. Importa referir que os valores apresentados nos gráficos são os correspondentes a uma onda incidente com 1 m de amplitude o que, para algumas situações, pode ser muito mais do que o expectável no local onde está o navio.

No fim deste procedimento, resulta uma matriz de transferência que estima a amplitude da componente vertical do movimento de um ponto do navio a partir da profundidade da zona onde o navio se desloca, do período da onda e do ângulo entre o eixo longitudinal do navio e o vetor número de onda da onda incidente no navio.

Na Tabela 5 apresenta-se um resumo dos resultados, em termos de alturas significativas,  $H_s$ , dos movimentos verticais do navio sujeito a cada um dos 6290 estados de agitação com 6 horas de duração que foram estimados para o período entre 1 de janeiro de 2008 e 31 de dezembro de 2012, para os centroides dos trechos de cada um dos dois trajetos em análise.

Começando pelo Trajeto Sul, na Tabela 5 observa-se um crescimento, com a velocidade de avanço, do valor médio das alturas significativas do movimento vertical. Ainda no que se refere às alturas significativas do movimento vertical do navio pode afirmar-se, a partir da Tabela 5, que o desvio padrão da amostra obtida aumenta com a velocidade do navio, o que sugere uma maior variabilidade dos movimentos verticais do navio.

Tal como já se verificara para as características da agitação marítima (Tabela 4), no mesmo Trajeto Sul, o valor médio das alturas significativas dos movimentos verticais do navio associados a cada estado de agitação diminui à medida que o navio se desloca para o interior da bacia abrigada. Contudo, este padrão não é observado no valor máximo das mesmas alturas significativas, ocorrendo até valores muito superiores aos observados nas alturas significativas dos estados de agitação incidentes apresentados na Tabela 4.

**Tabela 5.** Valores das alturas significativas dos movimentos verticais do ponto de interesse do navio nos centroides dos trechos dos dois trajetos.

Pontos	Velocidades (m/s)	$H_s$ (m)				
		Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão	
P1	0	5.9	0.0	0.6	0.6	
	1	6.0	0.0	0.6	0.7	
	2	6.1	0.0	0.7	0.7	
	3	6.1	0.0	0.7	0.8	
	4	4.5	0.0	0.5	0.6	
Trajeto Sul	P2	0	7.4	0.0	0.5	0.8
		1	7.8	0.0	0.5	0.8
		2	8.0	0.0	0.6	0.9
		3	8.1	0.0	0.6	0.9
		4	8.1	0.0	0.6	0.9
	P3	0	7.7	0.0	0.4	0.6
		1	8.0	0.0	0.4	0.6
		2	8.2	0.0	0.5	0.7
		3	8.2	0.0	0.5	0.8
		4	8.2	0.0	0.5	0.8
	P4	0	3.7	0.0	0.1	0.2
		1	3.7	0.0	0.1	0.2
		2	3.6	0.0	0.2	0.2
		3	5.2	0.0	0.2	0.3
		4	7.4	0.0	0.2	0.4
	Trajeto Norte	P2	0	6.4	0.0	0.4
1			6.9	0.0	0.5	0.7
2			7.4	0.0	0.6	0.8
3			7.7	0.0	0.6	0.9
4			5.7	0.0	0.4	0.6
P5		0	7.0	0.0	0.3	0.6
		1	6.4	0.0	0.2	0.5
		2	6.8	0.0	0.3	0.5
		3	4.8	0.0	0.2	0.4
		4	7.0	0.0	0.3	0.6
P6		0	1.8	0.0	0.0	0.1
		1	1.7	0.0	0.1	0.1
		2	1.6	0.0	0.1	0.1
		3	7.4	0.0	0.1	0.3
		4	1.4	0.0	0.1	0.1

#### 4.4 Avaliação do risco

Para ilustrar e testar a metodologia de avaliação da probabilidade de ocorrência apresentada anteriormente, definiu-se, a título de exemplo, um limiar de 1.5 m para a altura do movimento vertical do navio na parte dos trajetos no exterior do porto (ponto 1 e ponto 2, para ambos os Trajetos Sul e Norte) e um limiar de 0.5 m para a altura do mesmo movimento na parte dos trajetos no interior do porto (pontos 3 e 4, no Trajeto Sul e pontos 5 e 6, no Trajeto Norte) e avaliou-se a probabilidade de ocorrência de alturas superiores àqueles limiares para diferentes velocidades de avanço.

Na Tabela 6 apresentam-se as probabilidades de excedência dos limiares definidos, enquanto na Tabela 7 se apresenta o correspondente grau de probabilidade estabelecido de acordo com os limites enunciados na Tabela 1.

**Tabela 6.** Influência da velocidade de avanço na probabilidade da altura dos movimentos verticais do ponto de interesse do navio ultrapassar os limiares fixados.

Ponto do trajeto		Velocidade de avanço do navio ( $\text{ms}^{-1}$ )				
		0.0	1.0	2.0	3.0	4.0
Trajeto Sul	1	3.56%	4.37%	5.25%	5.79%	2.72%
	2	3.84%	4.36%	5.00%	5.51%	5.73%
	3	12.30%	14.24%	16.75%	18.35%	19.01%
	4	2.26%	2.42%	2.85%	3.89%	5.57%
Trajeto Norte	2	2.71%	3.48%	4.38%	5.12%	2.93%
	5	10.08%	7.75%	8.90%	6.44%	10.08%
	6	0.31%	0.31%	0.36%	0.14%	0.46%

**Tabela 7.** Influência da velocidade de avanço no grau de probabilidade.

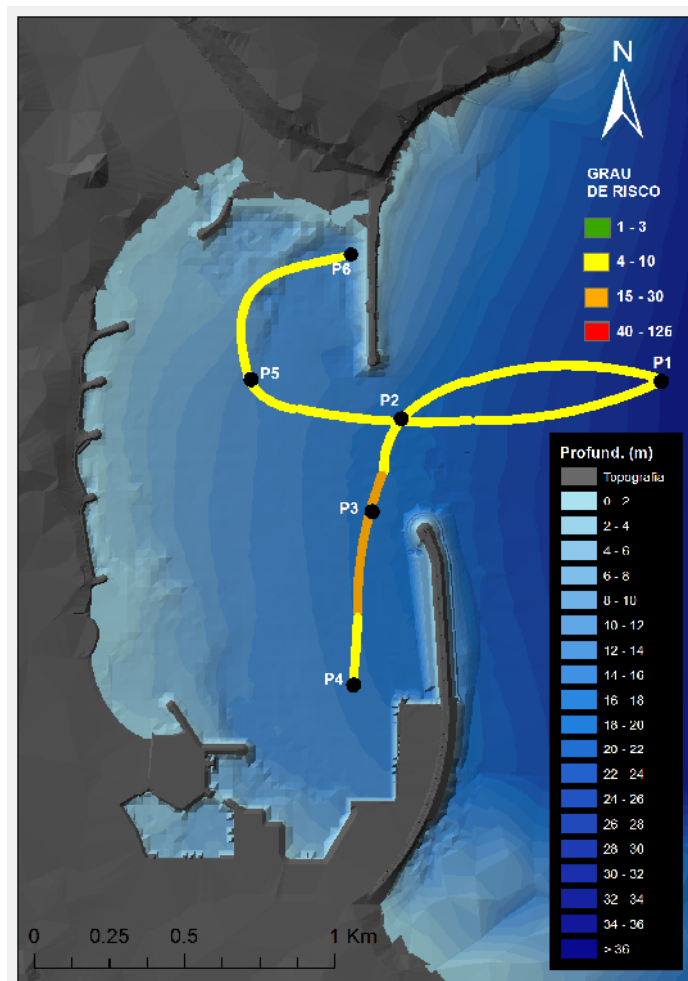
Ponto do trajeto		Velocidade de avanço do navio ( $\text{ms}^{-1}$ )				
		0.0	1.0	2.0	3.0	4.0
Trajeto Sul	1	2	2	2	2	2
	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3
	4	2	2	2	2	2
Trajeto Norte	2	2	2	2	2	2
	5	3	2	2	2	3
	6	1	1	1	1	1

Assumindo o grau 2 para as consequências dos movimentos excessivos no exterior do porto, e o grau 5 para o interior do porto, de acordo com a Tabela 2, obtém-se a Tabela 8 com os graus de risco nas viagens nos Trajetos Norte e Sul.

**Tabela 8.** Avaliação do risco associado à ocorrência de movimentos verticais que excedem os limiares pré-estabelecidos para os dois trajetos no porto da Praia da Vitória

Ponto do trajeto		Velocidade de avanço do navio ( $\text{ms}^{-1}$ )				
		0.0	1.0	2.0	3.0	4.0
Trajeto Sul	1	4	4	4	4	4
	2	4	4	4	4	4
	3	15	15	15	15	15
	4	10	10	10	10	10
Trajeto Norte	2	4	4	4	4	4
	5	15	10	10	10	15
	6	5	5	5	5	5

Na Figura 7 apresenta-se o mapa do risco associado à velocidade de avanço do navio de  $1 \text{ ms}^{-1}$  na Praia da Vitória. Nesta figura, as cores apresentadas ao longo dos trajetos definem o grau de risco associado.



**Figura 7.** Mapa de risco para a navegação no porto de Praia da Vitória (Trajetos Norte e Sul), representativos do percurso considerado em cada um dos portos, relativamente à velocidade de avanço do navio de  $1 \text{ ms}^{-1}$ .

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta comunicação, apresentou-se uma metodologia de avaliação do risco para a navegação portuária: definiu-se o regime de agitação marítima em vários pontos ao longo de dois trajetos de entrada de um navio selecionado no porto e obteve-se a resposta desse navio à agitação marítima utilizando o modelo WAMIT. Foi exemplificado um procedimento de avaliação do risco considerando que o grau de risco é o produto do grau atribuído à probabilidade de ocorrência de movimentos verticais de um navio que excedem limiares pré-estabelecidos pelo grau atribuído às consequências dessa excedência. Utilizaram-se limiares distintos para os movimentos verticais do navio (1.5 m para o navio no exterior do porto e 0.5 m para o navio no interior do porto), considerando-se a mesma distinção para a atribuição do grau de consequências da ultrapassagem desses limiares.

Desta avaliação do risco, cujo objetivo principal é contribuir para o planeamento de intervenções na zona em estudo, pode resultar a necessidade de implementação de sistemas de alerta para os fenómenos considerados – quando o grau de risco é muito elevado. Uma vez que estes fenómenos são uma consequência direta da agitação

marítima, os procedimentos utilizados para previsão da resposta dos sistemas na avaliação do risco, serão certamente uma componente fundamental dos sistemas de alerta.

O procedimento aqui descrito é uma contribuição para a extensão das capacidades de um sistema em desenvolvimento no LNEC, HIDRALERTA, no que diz respeito à navegação.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) o financiamento concedido através do projeto HIDRALERTA. Agradecem toda a colaboração prestada, bem como a disponibilização de informação do porto da Praia da Vitória, aos Portos dos Açores, S.A., à Dr<sup>a</sup>. Anabela Simões e ao Prof. Eduardo Azevedo da Universidade dos Açores e à Dr<sup>a</sup>. Conceição Rodrigues da Azorina, S.A.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Antunes, C. (2010). Monitorização da Variação do Nível do Mar. In *1<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Instituto Hidrográfico, 21 e 22 de junho, Lisboa.

Booij, N., Ris, R.C. e Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *J. Geophysical Research*, 104, C4, pp. 7649-7666.

Fortes, C.J.E.M. (2002). *Transformações não lineares de ondas em zonas portuárias. Análise pelo método dos elementos finitos*. Tese de doutoramento. Engenharia Mecânica, IST, Lisboa.

Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S-K, Hnilo, J.J., Fiorino, M. e Potter, G.L. (2002). *NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2)*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, pp. 1631-1643.

Neves, D.R., Reis, M.T., Fortes, C.J.E.M., e Santos, J.A. (2010). Aplicação ao porto de Sines de uma nova metodologia de avaliação do risco para a navegação portuária utilizando o sistema de informação geográfica GUIOMAR. *Revista de Gestão Costeira Integrada (Journal of Integrated Coastal Zone Management)*. Vol. 10, N. 4 - dezembro 2010 APRH/UNIVALI, pp. 483-504. ISSN: 1646-8872.

Neves, D.R.C.B., Rodrigues, S., Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T., Santos, J.A. e Capitão, R. (2012). Application to the Port of Sines of a new tool for risk assessment in port navigation. *Journal of Coastal Conservation, Planning and Management*, Vol. 16, pp. 489–501. 10.1007/s11852-012-0190-7.

Maritime Safety Authority (2004). *New Zealand port & harbour marine safety code. Final code*. Maritime Safety Authority of New Zealand, August.

Newman, J.N. e Sclavounos, P.D. (1988). The computation of wave loads on large offshore structures. In *Boss 88*, Norway, pp. 1-19.

Poseiro, P., Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T., Santos, J.A., Simões, A., Rodrigues, C. e Azevedo, E. (2013). A methodology for overtopping risk assessment in port areas: Application to the Port of Praia da Vitória (Azores, Portugal). In *SCACR*, LNEC, 4 a 7 de junho, Lisboa.

Rodrigues, S., Santos, J.A. e Lemos, R. (2011a). Interação da agitação marítima com navios em manobra na entrada de portos. In *Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia 2011*, Coimbra, 14 a 17 de junho de 2011.

Rodrigues, S., Santos, J.A., Neves, D.R. e Oliveira, R. (2011b). Movimentos de navios na entrada de um porto induzidos pela agitação marítima. In *7as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, Porto, 6 e 7 de outubro de 2011.

Santos, J.A., Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T. e Oliveira, R.P. (2013). Movimentos verticais excessivos de um navio em manobra. Avaliação da probabilidade de ocorrência. *Revista Territorium*, n.º 20, Riscos, Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, pp. 133-145. ISBN: 0872-8941.

Santos, J.A., Reis, M.T., Neves, D.R., Fortes, C.J.E.M., Rodrigues, S., Azevedo, E., Rodrigues, M.C., Simões, A., Ramalheira, J. e Raposeiro, P. (2011). Aplicação de uma metodologia para avaliação do risco para a navegação e galgamentos no porto da Praia da Vitória. In *7as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, Porto, 6 e 7 de outubro.

Tolman, H.L. (1999). *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18*. NOAA / NWS / NCEP / OMB technical note 166, 110 pp.

Zózimo, A.C., Fortes, C.J.E.M. e Neves, D.R.C.B. (2008). GUIOMAR: Geographical User Interface for cOastal and MARine modeling. Recent developments and assessment of potential geographical errors. In *Mediterranean Days of Coastal, Port Engineering*, Palermo, 7 a 9 de outubro, Itália.