

# MARINA DA QUINTA DO LORDE ESTUDO, EM MODELO NUMÉRICO, DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS MARÍTIMAS

Conceição Juana Fortes, Ana Catarina Zózimo, Maria da Graça Neves, Idalina Alves, José Covas  
LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Tel. +351 21 844 3446, Fax. 351 21 844 3019  
jfortes@lneec.pt, aczozimo@lneec.pt, gneves@lneec.pt, ialves@lneec.pt, acovas@lneec.pt

## RESUMO

Na presente comunicação, descreve-se o estudo em modelo numérico realizado pelo LNEC, com vista à caracterização da agitação marítima para quatro diferentes configurações da marina da Quinta do Lorde, de modo a identificar a que oferece um maior abrigo para as embarcações estacionadas no interior da marina.

A caracterização da agitação marítima no interior da marina foi realizada através da aplicação do modelo matemático de refração-difração-reflexão de ondas regulares DREAMS, Fortes (1993). Os cálculos de propagação de ondas regulares na zona de estudo foram efectuados para as quatro configurações da marina, para dois níveis de maré e para várias condições de agitação incidente.

Os resultados dos cálculos são apresentados sob a forma de diagramas referentes às isolinhas dos índices de agitação no interior da marina, para as várias configurações e condições de agitação incidente.

A análise dos resultados obtidos permitiu concluir qual das configurações proporciona melhores condições de tranquilidade às embarcações estacionadas no interior da marina e, em especial, próximo da zona de entrada da mesma.

## 1. INTRODUÇÃO

A marina da Quinta do Lorde situa-se na costa sul da ilha da Madeira, perto da localidade do Caniçal, Figura 1.



Figura 1 – Ilha da Madeira. Localização da localidade do Caniçal.

A marina é abrigada por dois molhes (ver Figura 2 e Figura 3): o molhe principal tem cerca de 300 m de comprimento e uma orientação aproximada de E-W; o segundo molhe, designado por contra-molhe, tem uma orientação N-S e um comprimento aproximado de 75 m. Junto à cabeça do molhe, os fundos estão a cotas que variam entre -10 m e -20 m (Z.H.). A bacia que se encontra abrigada por estes molhes apresenta cotas desde -15 m até -1 m (Z.H.), ver Figura 3. No interior da bacia, encontra-se uma série de passadiços que servem para atracação das embarcações aí estacionadas, ver Figura 2 e Figura 3.



Figura 2 - Vista geral (a) e dos molhes principal (b) e secundário (c) da marina da Quinta do Lorde.

Na sequência de temporais ocorridos durante o ano de 2002, verificou-se a ocorrência de agitação indesejável no interior desta marina, mais concretamente na zona de entrada. Esta situação levou a que fossem retiradas as embarcações estacionadas nos passadiços A e B, que se encontram mais próximos da entrada da marina, ver Figura 3.

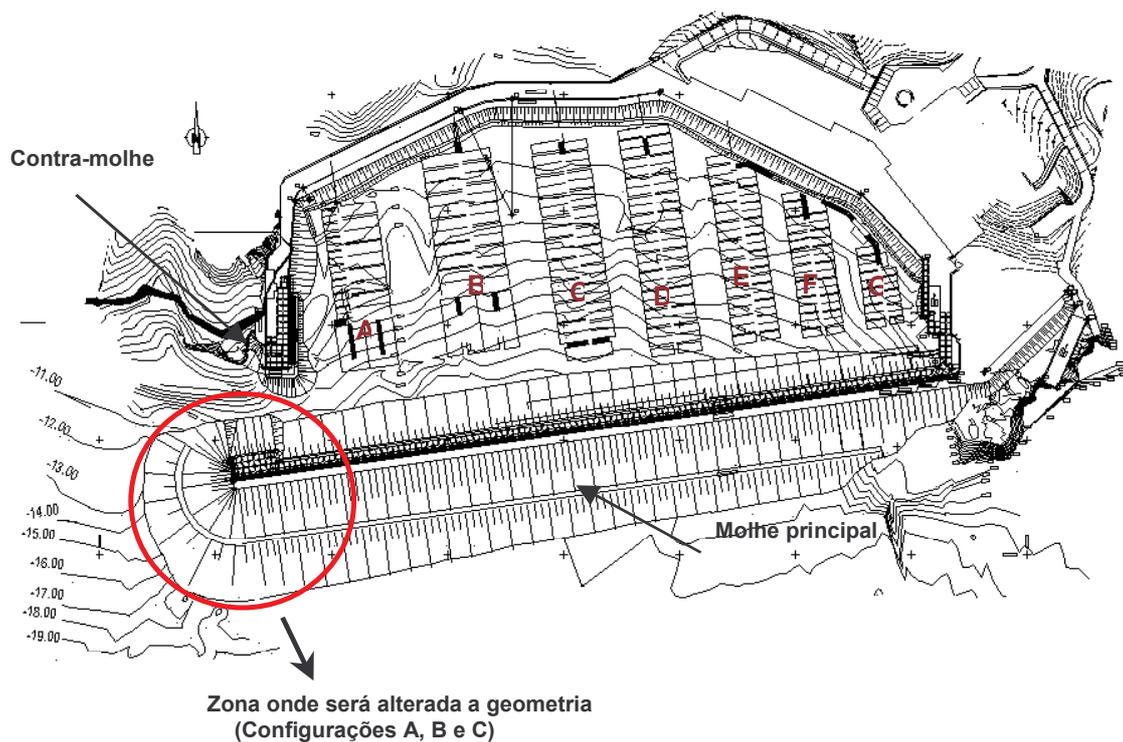


Figura 3 - Marina da Quinta do Lorde. Configuração actual.

Assim, foram propostas pela empresa projectista WW, Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, Lda., três soluções alternativas para a configuração da marina, que alteram a zona assinalada com um círculo vermelho na Figura 3, de forma a permitir o estacionamento seguro de embarcações nos passadiços A e B. Todas as configurações propostas prevêem a construção de uma “ilha” em frente ao molhe principal da marina, estando as diferenças entre as configurações relacionadas com as características dos taludes que envolvem essa “ilha”. Da Figura 4 à Figura 6, apresentam-se os cortes das configurações A, B e C.

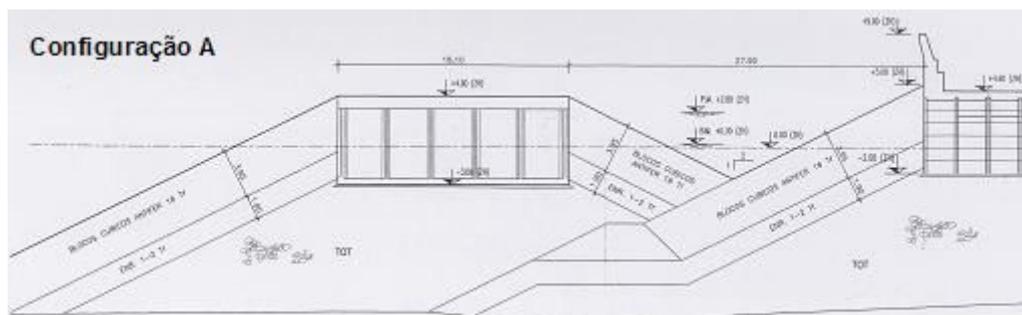


Figura 4 - Configuração A: Corte efectuado ao longo do prolongamento do molhe principal. Desenho da autoria da WW.

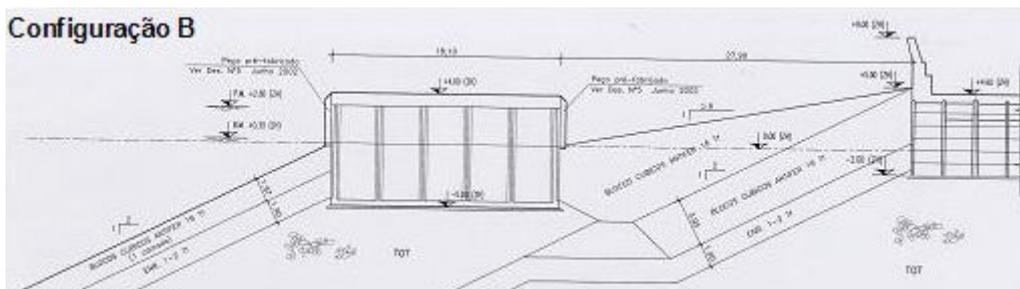


Figura 5 - Configuração B: Corte efectuado ao longo do prolongamento do molhe principal. Desenho da autoria da WW.

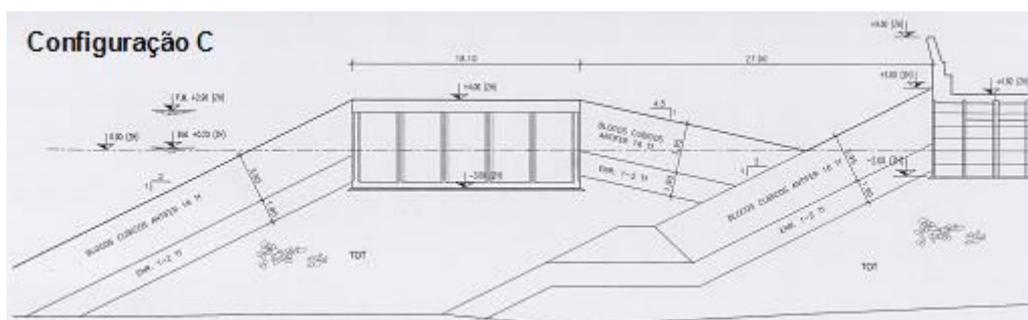


Figura 6 - Configuração C: Corte efectuado ao longo do prolongamento do molhe principal. Desenho da autoria da WW.

De forma a avaliar qual das configurações propostas contribui para uma maior protecção da marina à agitação incidente, procedeu-se à propagação das características da agitação marítima para o interior da marina da Quinta do Lorde, para as quatro configurações possíveis (a actual e as três soluções alternativas). Os cálculos de propagação de ondas regulares foram efectuados com o modelo de refacção-difracção-reflexão DREAMS (Fortes, 1993) na zona em estudo, para as diferentes configurações da marina e para as várias condições de agitação incidente susceptíveis de ocorrer na zona.

Nas secções seguintes serão apresentados os princípios de cálculo do modelo utilizado, as condições do estudo efectuado e, finalmente, os resultados obtidos, sua análise e principais conclusões obtidas.

## 2. PRINCÍPIOS DE CÁLCULO DO MODELO DREAMS

DREAMS é um modelo matemático para o cálculo da propagação e deformação de ondas regulares em zonas costeiras, Fortes (1993). O modelo pode ser aplicado no estudo, quer da penetração da agitação marítima de período curto num porto, quer da ressonância de uma marina excitada por ondas de longo período nela incidentes. É baseado na equação elíptica de declive suave, Berkhoff (1972), que descreve os efeitos combinados da refacção e difracção de ondas monocromáticas propagando-se em fundos de inclinação suave como os que ocorrem em portos, baías e restantes zonas costeiras. O método numérico utilizado para a resolução da equação de declive suave é o Método dos Elementos Finitos (MEF). Dado o facto do modelo não apresentar qualquer limitação quanto ao ângulo de incidência da onda na entrada do domínio de cálculo, o mesmo domínio computacional pode ser utilizado para uma larga gama de direcções de onda incidente.

As condições de fronteira implementadas no modelo são as *condições de radiação*, que permitem a saída de perturbações geradas no domínio no sentido de propagação para o infinito, as *condições de geração e radiação combinadas*, como as relativas a fronteiras abertas e que permitem a entrada da agitação incidente e a saída das perturbações geradas no

domínio e as *condições de reflexão* (total ou parcial), referentes aos contornos sólidos da zona em estudo (praias, falésias, molhes, entre outros).

O modelo calcula índices de agitação ( $H/H_0$ ), relação entre a altura de onda no ponto do domínio de cálculo,  $H$ , e a altura de onda à entrada do domínio de cálculo,  $H_0$ , ou coeficientes de amplificação (em estudos de ressonância portuária) e direcções de propagação da onda. O campo de velocidades horizontais na superfície livre e as cristas das ondas (linhas de igual fase) constituem resultados opcionais.

A validação do modelo matemático, Fortes (1993), foi feita com casos de teste clássicos da bibliografia, tais como o fundo plano inclinado, o baixio circular, os molhes semi-infinitos e a bacia rectangular de Mei e com casos de teste reais. O modelo foi também validado com base nos estudos de ressonância e agitação nos portos de Saint Quay-Portrieux, Fortes (1993) e no porto da Baleeira, Fortes *et al.* (1997), tendo sido comparados, para este caso de teste, os resultados de DREAMS com resultados de outros modelos matemáticos, Covas (1992), e/ou de modelos físicos.

As principais limitações do modelo são o facto de, por ser linear, não ter em conta efeitos não-lineares, tais como a interacção de ondas e correntes, a interacção de ondas devido à topografia do fundo, a transferência de energia entre componentes de onda, a geração de componentes de baixa frequência induzidas por grupos de ondas curtas e o efeito da dispersão por amplitude da onda. O modelo também não tem em conta os efeitos da dissipação de energia por rebentação e atrito de fundo e os galgamentos sobre estruturas. Finalmente, a sua aplicação está condicionada a fundos de declive suave, até 1:3.

### 3. ESTUDOS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA

#### 3.1 Condições de agitação, batimetria e domínios de cálculo

A gama dos valores característicos da agitação escolhidos para os cálculos com o modelo DREAMS contém a maioria dos períodos e direcções de onda verificados nos dias de temporal ocorrido na marina da Quinta do Lorde em 2002. Assim, as ondas regulares utilizadas nos cálculos de propagação com o modelo DREAMS são caracterizadas por:

- Períodos de onda de 4 s, 7 s e 12 s;
- Direcções de onda incidente de SSW, S, S-11.25°-W, S-33.75°-W e SW. É de salientar que a ocorrência de direcções locais de S-33.75°-W e SW associadas a períodos mais elevados (12 s) pode ser rara. Tal é devido à morfologia dos fundos na zona de aproximação à marina da Quinta do Lorde que, devido à refração da onda, provoca a rotação das direcções da onda para S.
- Níveis de maré de +0.2 m (Z.H.) (baixa-mar) e +2.9 m (Z.H.) (preia-mar).

A batimetria da zona de interesse do estudo, utilizada nos cálculos com o modelo numérico, foi obtida através da digitalização das batimétricas representadas no desenho fornecido pela WW, intitulado: "*Marina da Quinta do Lorde. Infra-estruturas marítimas*", escala 1:500, datado de Junho de 2002.

Uma vez que os cálculos com o modelo numérico são realizados para dois níveis de maré (baixa-mar e preia-mar), tal implica uma localização diferente do contorno da marina consoante o nível de maré considerado. Este facto levou à definição de dois domínios de cálculo, I e II, para cada configuração da marina, correspondentes aos níveis de baixa-mar e de preia-mar, respectivamente. Da Figura 7 à Figura 10, apresentam-se os oito domínios de cálculo utilizados nos cálculos, com as respectivas batimetrias. Na Figura 7, correspondente à configuração actual, é também assinalada a zona A, onde serão obtidos os valores máximos dos índices de agitação para cada uma das configurações estudadas.

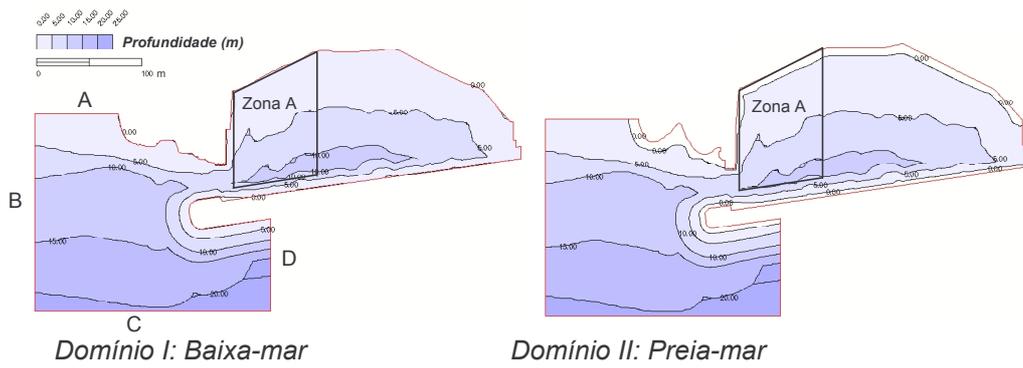


Figura 7 - Configuração actual. Batimetria e domínios de cálculo do modelo DREAMS.

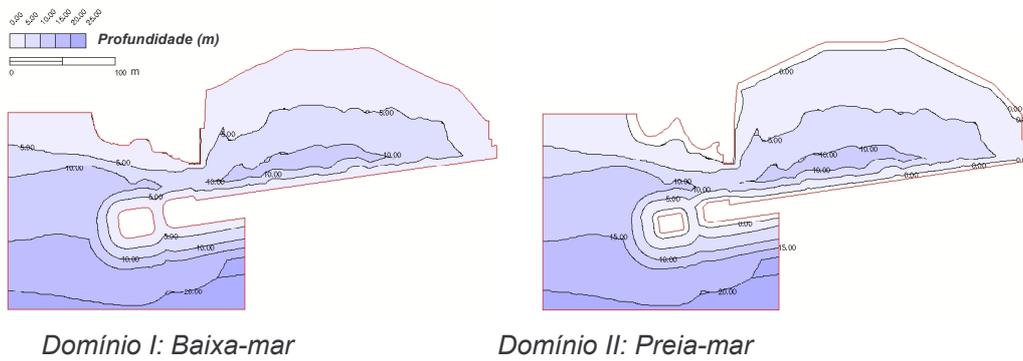


Figura 8 - Configuração A. Batimetria e domínios de cálculo do modelo DREAMS.

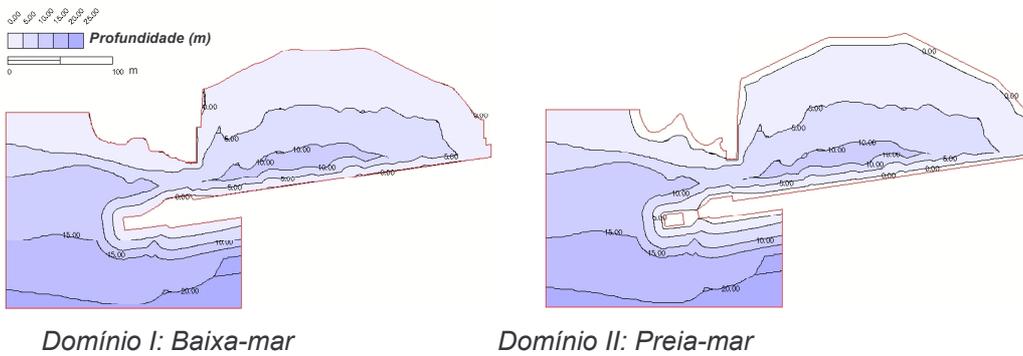


Figura 9 - Configuração B. Batimetria e domínios de cálculo do modelo DREAMS.

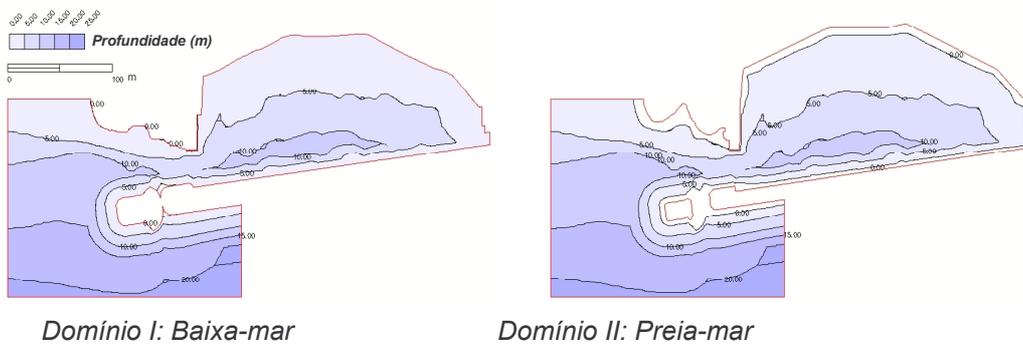


Figura 10 - Configuração C. Batimetria e domínios de cálculo do modelo DREAMS.

### 3.2 Malhas de elementos finitos e condições de fronteira do modelo

Os oito domínios de cálculo foram discretizados por malhas de elementos finitos, com um espaçamento entre nós de 0.3 m, aproximadamente.

As condições de fronteira de entrada e saída da agitação foram impostas nos troços A a D, Figura 7. Para as direcções consideradas, nos troços B e C (fronteiras de entrada da agitação) impuseram-se condições de geração-radiação, enquanto que nos troços A e D (fronteiras de saída da agitação) foi imposta a condição de radiação. Quanto aos restantes troços, para as várias direcções de incidência da onda, impuseram-se condições de reflexão parcial. Os respectivos coeficientes de reflexão foram determinados com base nas características de cada troço (tais como a porosidade, o diâmetro do material ( $D_{50}$ ), o declive do talude e a profundidade no pé do talude) e nas características da onda (altura e período), através do procedimento descrito em Seelig e Ahrens (1995). Note-se que os valores do coeficiente de reflexão de cada troço são diferentes para os dois níveis de maré considerados, pois estes níveis influenciam a profundidade no pé do talude da estrutura.

As características dos troços da fronteira foram definidas com base em elementos fornecidos pela empresa projectista WW, Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, Lda., pela Somague Engenharia Madeira, S.A. e em fotografias obtidas no local pelo LNEC.

## 4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS

Após a aplicação do modelo a todos os domínios de cálculo e para todas as condições de agitação incidente, obtiveram-se os diagramas de isolinhas dos índices de agitação para cada caso e os valores máximos dos índices de agitação na zona A (ver Figura 7).

A análise e interpretação dos resultados é efectuada primeiramente para a configuração actual da marina, e de todos os casos testados serão aqui apresentados alguns exemplos. Seguidamente, comparam-se os resultados obtidos para cada uma das configurações alternativas e apontam-se as principais diferenças verificadas nos resultados face ao observado na configuração actual. Finalmente, avalia-se qual das configurações conduz a uma maior protecção da agitação marítima incidente.

### 4.1 Configuração actual

Após a análise dos resultados obtidos para a configuração actual, verificaram-se alguns comportamentos a nível geral, que se passam a apresentar.

Os maiores valores do índice de agitação verificam-se na zona de entrada da marina, e vão diminuindo para o seu interior. É de salientar que este comportamento das isolinhas do índice de agitação é mais notório para os períodos mais curtos (4 s e 7 s) do que para o período de 12 s. Para este último período, verificam-se também valores elevados no interior da marina. Tal pode ser verificado através da análise da Figura 11 à Figura 13, que correspondem a diagramas de isolinhas de índices de agitação obtidos com ondas incidentes de 4 s, 7 s e 12 s e provenientes de Sul, para os níveis de maré de baixa-mar e preia-mar.

Para os períodos de 7 s (preia-mar), ver Figura 12, e 12 s (baixa-mar e preia-mar), ver Figura 13, verifica-se ainda a ocorrência de uma onda que se propaga no interior do porto ao longo do molhe principal, isto é, ao longo da fronteira 5. Para estes períodos, existem também valores elevados de  $H/H_0$  ao longo do molhe secundário do porto, fronteira 14. Para além destas fronteiras, para o período de 12 s ocorrem valores elevados do índice de agitação ao longo das restantes fronteiras interiores da marina. Estes valores elevados de  $H/H_0$  resultam das reflexões ocorridas nas fronteiras (devidos aos maiores valores de coeficientes de reflexão associados a estes casos) e das baixas profundidades verificadas junto às mesmas.

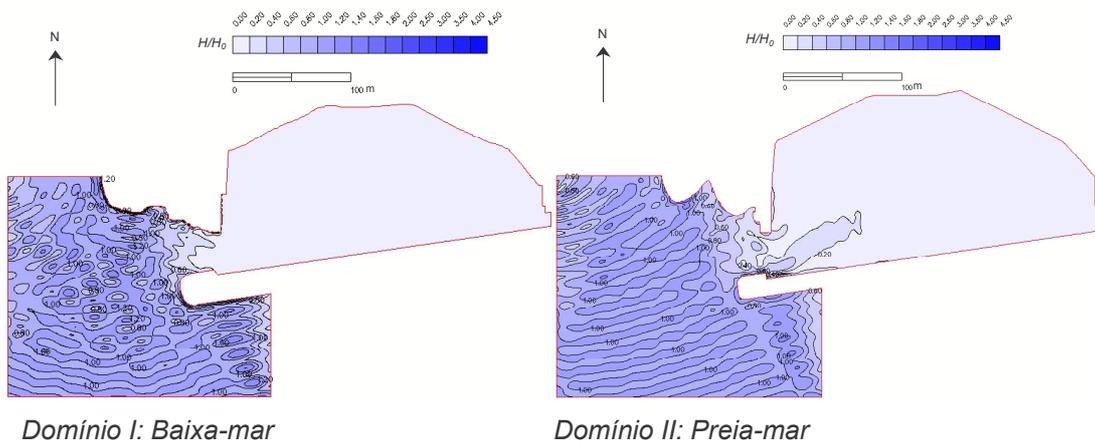


Figura 11 - Configuração actual. Diagramas de isolinhas de índices de agitação, para uma onda incidente de período  $T=4$  s e direcção de S.

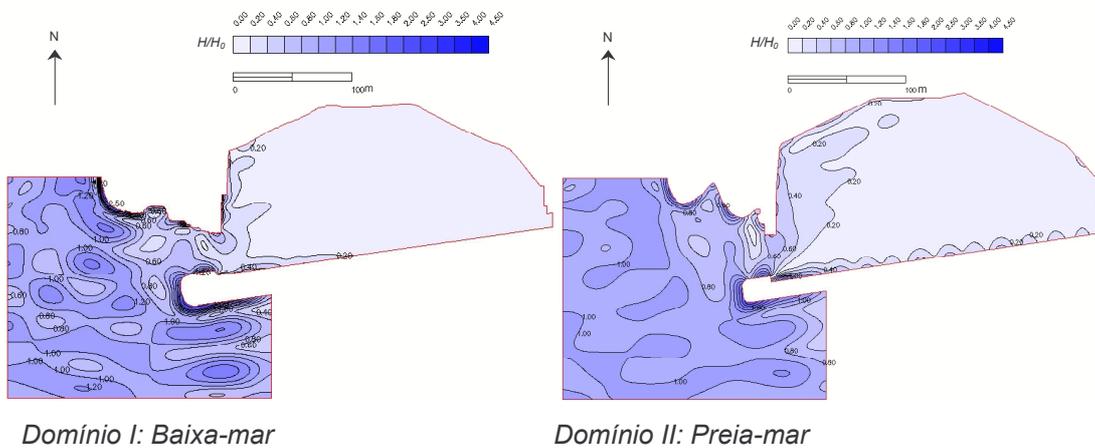


Figura 12 - Configuração actual. Diagramas de isolinhas de índices de agitação, para uma onda incidente de período  $T=7$  s e direcção de S.

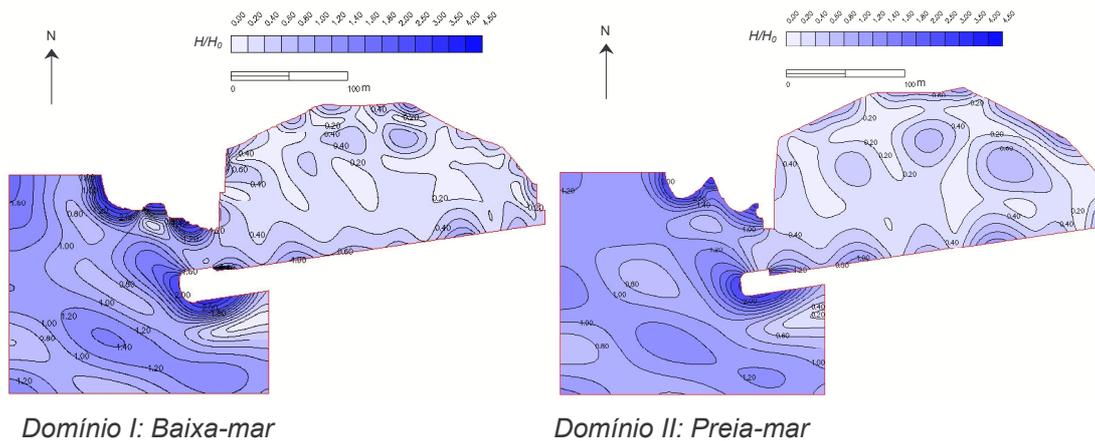


Figura 13 - Configuração actual. Diagramas de isolinhas de índices de agitação, para uma onda incidente de período  $T=12$  s e direcção de S.

Verificou-se ainda a influência do período da onda incidente e do nível de maré nos resultados de agitação no interior da marina obtidos para a configuração actual. Com efeito, para todas as direcções de onda e para os períodos de 4 s e 7 s, os valores do índice de agitação verificados no interior da marina para o nível de maré de baixa-mar são inferiores aos

correspondentes ao nível de preia-mar. Para o período de 12 s, os valores dos índices de agitação em baixa mar são da mesma ordem de grandeza ou mesmo superiores aos verificados em preia-mar. Tal pode ser observado da análise da Figura 11 à Figura 13 e do Quadro 1, que contém os valores máximos dos índices de agitação na zona A da marina para todas as configurações, períodos, direcções e níveis de maré. Neste quadro, os resultados correspondentes à configuração actual estão assinalados a laranja, de modo a facilitar a observação das conclusões acima referidas.

Em geral, à medida que o período da onda aumenta, para uma mesma direcção de onda incidente, os valores do índice de agitação aumentam no interior da marina, para o nível de maré de baixa-mar, ver Quadro 1. Para o nível de maré de preia-mar, tal já não se verifica para todos os rumos da onda. Com efeito, para certas direcções de onda (SW, por exemplo) e, em particular, na zona dos passadiços (zona A), verifica-se que os índices de agitação podem atingir valores mais elevados em períodos curtos do que em períodos longos.

Quadro 1 – Valores máximos do índice de agitação na zona A do interior da marina.

Configuração	Nível de maré (m)	T (s)	Índice de agitação				
			S	S-11.25°-W	SSW	S-33.75°-W	SW
Actual	+0.2 m Z.H. (Domínio I)	4	0.05	0.07	0.09	0.16	0.16
		7	0.38	0.35	0.37	0.29	0.20
		12	0.81	0.88	0.91	0.77	0.69
A		4	0.05	0.04	0.04	0.07	0.06
		7	0.16	0.17	0.10	0.01	0.07
		12	0.58	0.52	0.37	0.27	0.16
B		4	0.03	0.06	0.07	0.11	0.09
		7	0.06	0.08	0.09	0.07	0.06
		12	0.40	0.41	0.42	0.35	0.33
C		4	0.06	0.03	0.05	0.06	0.07
		7	0.07	0.07	0.07	0.05	0.05
		12	0.35	0.31	0.25	0.22	0.22
Actual	+2.9 m Z.H. (Domínio II)	4	0.36	0.37	0.40	0.44	0.74
		7	0.58	0.57	0.65	0.59	0.48
		12	0.54	0.60	0.58	0.51	0.44
A		4	0.23	0.18	0.12	0.37	0.51
		7	0.14	0.34	0.45	0.43	0.28
		12	0.41	0.48	0.48	0.41	0.34
B		4	0.26	0.39	0.28	0.31	0.50
		7	0.62	0.66	0.60	0.44	0.25
		12	0.50	0.57	0.55	0.47	0.39
C		4	0.22	0.09	0.22	0.27	0.48
		7	0.26	0.33	0.27	0.12	0.12
		12	0.44	0.43	0.36	0.28	0.21

Concluindo, para preia-mar pode-se afirmar que a agitação incidente de período de 7 s e 12 s penetra francamente no interior da marina, qualquer que seja a direcção da onda incidente. Para o período de 4 s, a marina encontra-se mais desprotegida para direcções de onda entre SSW e SW. Verifica-se também que, na zona dos passadiços, para todos os períodos e direcções da onda testadas, ocorrem valores elevados de  $H/H_0$ , que são sempre superiores a 0.36 e atingem um valor máximo de 0.74.

Em baixa-mar, constata-se que apenas para os períodos de 7 s (direcções de onda entre S e SSW) e 12 s (todas as direcções de onda), ocorrem valores elevados do índice de agitação no interior da marina, superiores a 0.35. O valor máximo de  $H/H_0$  na zona dos passadiços é de 0.91.

## 4.2 Comparação da configuração actual com as configurações A, B e C

Após a análise dos resultados obtidos para a configuração actual, procedeu-se então, como referido, à sua comparação com os resultados obtidos para cada uma das outras três configurações, de modo a verificar qual das quatro conduziria a uma maior redução da agitação marítima na zona de entrada da marina.

De modo a facilitar a compreensão dos resultados, é apresentada uma síntese qualitativa da comparação dos mesmos no Quadro 2.

Quadro 2 – Comparação das Configurações A, B e C com a Configuração Actual.

Configuração	Nível de maré (m)	T(s)	Situação da Configuração A, B ou C face à Configuração Actual				
			S	S-11.25°-W	SSW	S-33.75°-W	SW
A	Baixa-mar	4	++	++	++	++	++
		7	++	++	++	++	++
		12	+	+	++	++	++
	Preia-mar	4	++	++	++	+	+
		7	++	++	+	+	++
		12	+	+	+	+	+
B	Baixa-mar	4	++	++	++	++	++
		7	++	++	++	++	++
		12	+	++	++	++	++
	Preia-mar	4	++	-	++	+	+
		7	-	-	+	+	++
		12	+	+	+	+	+
C	Baixa-mar	4	++	++	++	++	++
		7	++	++	++	++	++
		12	++	++	++	++	++
	Preia-mar	4	++	++	++	+	+
		7	++	++	++	++	++
		12	+	+	+	++	++

**Legenda:** - : Configuração A, B ou C pior que Configuração Actual  
 + : Configuração A, B ou C melhor que Configuração Actual  
 ++ : Configuração A, B ou C bastante melhor que Configuração Actual

Verificou-se que, em geral, todas as configurações testadas proporcionam um maior abrigo à agitação incidente face ao observado na configuração actual, qualquer que seja o nível de maré. Este comportamento pode ser observado através dos resultados apresentados no Quadro 1, no Quadro 2 e da Figura 14 à Figura 25, referentes aos diagramas de isolinhas de índices de agitação para todo o domínio de cálculo e para a zona interior da marina. As referidas figuras traduzem os resultados obtidos para as quatro configurações (Actual, A, B e C), para uma onda incidente de período de 4 s, 7 s e 12 s, direcção de SSW e nível de maré de preia-mar.

O nível de maré também influencia os resultados, pois na maioria das situações o abrigo conferido pelas configurações propostas é maior para o nível de baixa-mar do que para o nível de preia-mar.

Relativamente à influência do período, verificou-se que a protecção à agitação incidente das configurações alternativas é mais eficaz para o período de 4 s e vai diminuindo à medida que o período da onda aumenta. Este comportamento é especialmente notório para o nível de baixa-mar, enquanto que para o nível de preia-mar este facto não é tão óbvio. Com efeito, para o nível de preia-mar e para certas direcções de onda verificam-se valores mais elevados do índice de agitação no interior da marina (e, em especial, na zona dos passadiços) para ondas de período mais curto (4 s e 7 s) do que para ondas de período mais longo (12 s), ver Quadro 1.

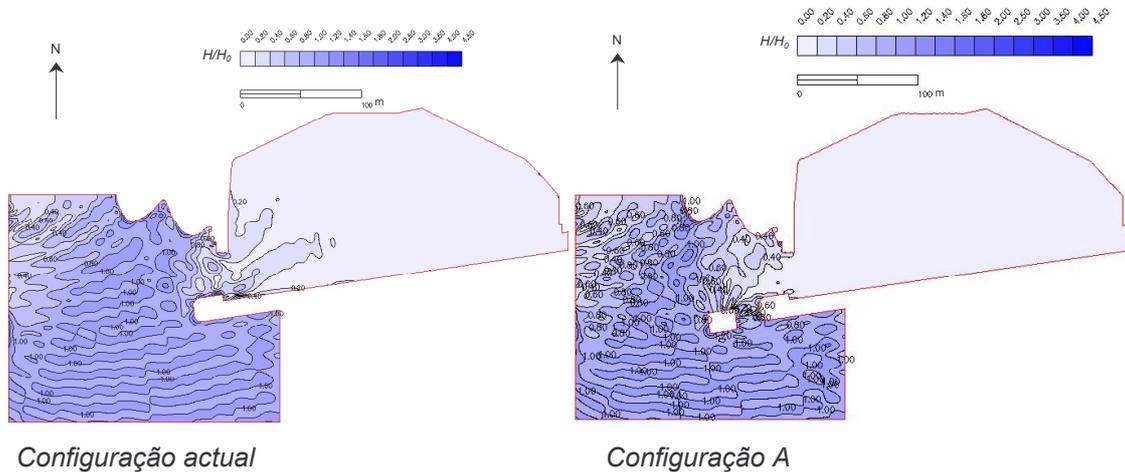


Figura 14 – Configurações actual e A. Diagramas de isolinhas dos índices de agitação, para uma onda incidente de período  $T=4$  s e direcção de SSW. NM= +2.9 m (Z.H.).

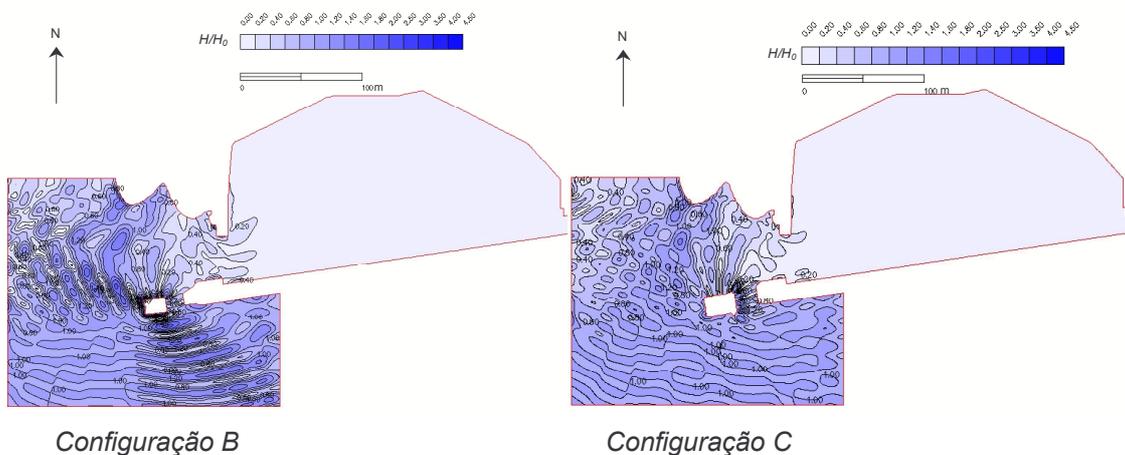
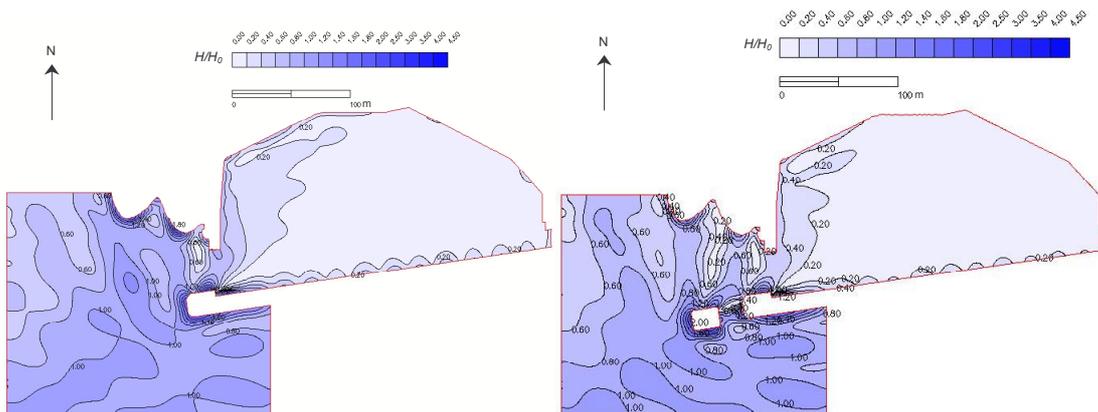


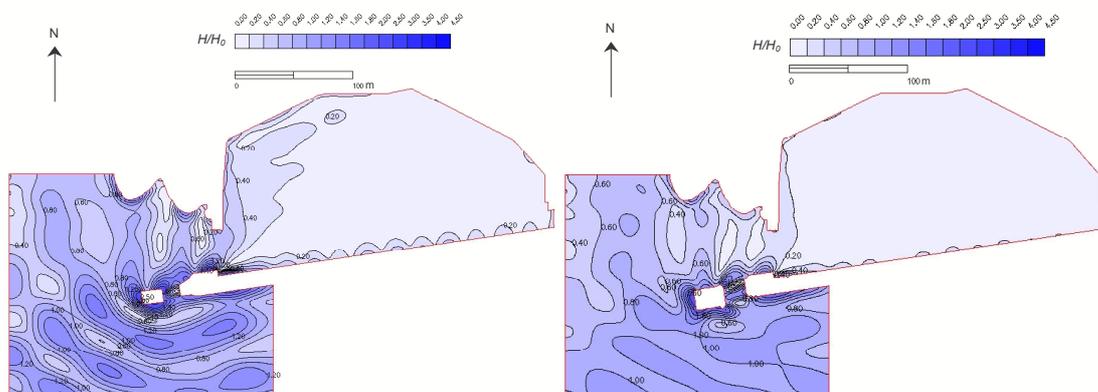
Figura 15 - Configurações B e C. Diagramas de isolinhas dos índices de agitação, para uma onda incidente de período  $T=4$  s e direcção de SSW. NM= +2.9 m (Z.H.).



*Configuração actual*

*Configuração A*

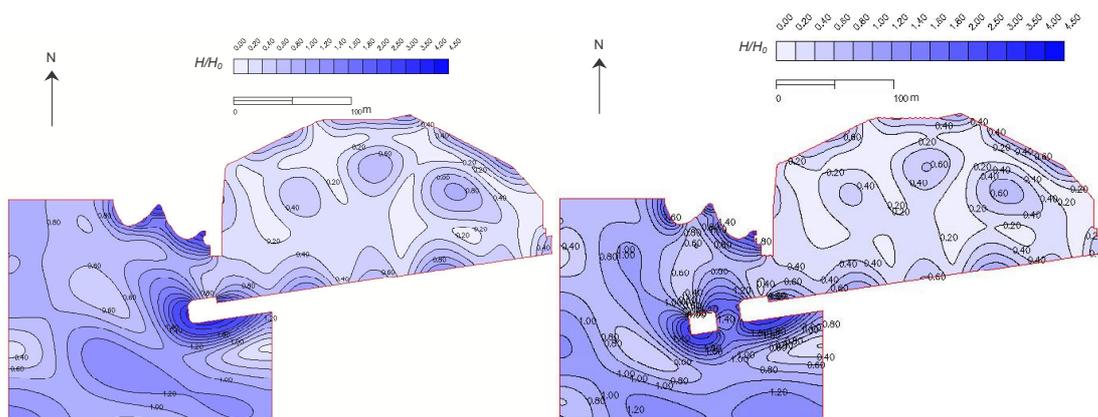
Figura 16 – Configurações actual e A. Diagramas de isolinhas dos índices de agitação, para uma onda incidente de período  $T=7$  s e direcção de SSW. NM= +2.9 m (Z.H.).



*Configuração B*

*Configuração C*

Figura 17 - Configurações B e C. Diagramas de isolinhas dos índices de agitação, para uma onda incidente de período  $T=7$  s e direcção de SSW. NM= +2.9 m (Z.H.).



*Configuração actual*

*Configuração A*

Figura 18 – Configurações actual e A. Diagramas de isolinhas dos índices de agitação, para uma onda incidente de período  $T=12$  s e direcção de SSW. NM= +2.9 m (Z.H.).

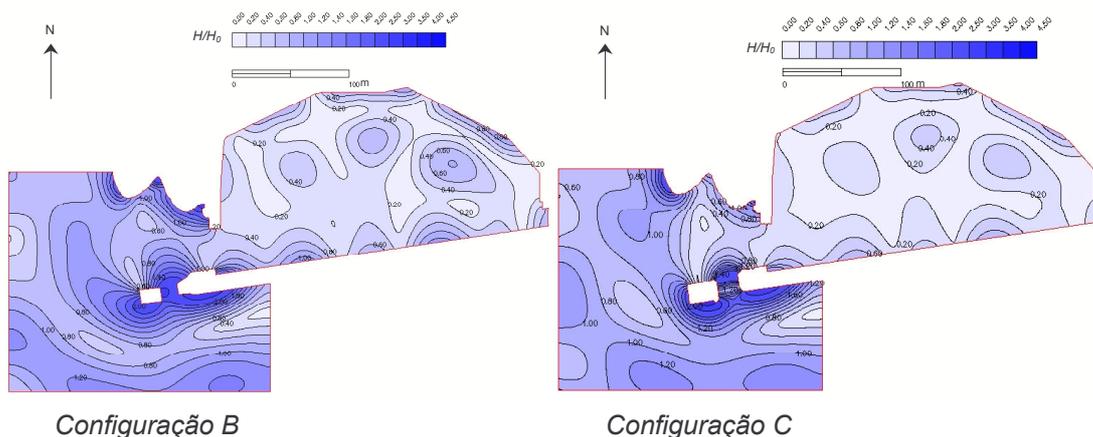


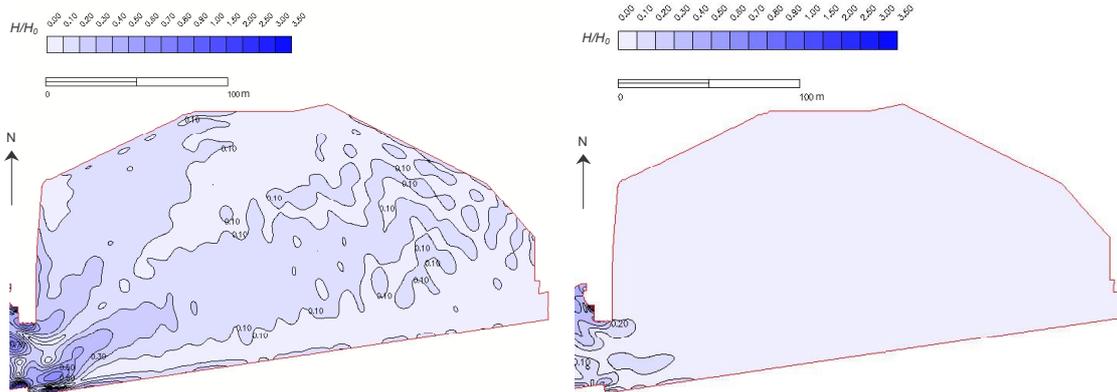
Figura 19 - Configurações B e C. Diagramas de isolinhas dos índices de agitação, para uma onda incidente de período  $T=12$  s e direcção de SSW. NM= +2.9 m (Z.H.).

Relativamente à zona mais relevante para este estudo, a zona A, a comparação entre configurações mostrou que existe alguma influência do nível de maré no comportamento das diferentes configurações. Este comportamento pode ser observado através dos resultados apresentados no Quadro 1 e no Quadro 2. Para o nível de preia-mar, as diferenças entre a protecção de cada uma das configurações é bastante mais acentuada do que para o nível de maré de baixa-mar.

Para o nível de preia-mar, observa-se que:

- Para o período de 4 s, a configuração C é a que apresenta melhores resultados na zona dos passadiços, isto é, é aquela que conduz a menores valores do índice de agitação nessa zona, na maioria dos rumos testados. Apenas para o rumo de SSW, a configuração A apresenta valores máximos de  $H/H_0$  inferior ao da configuração C. No entanto, estes valores são próximos dos obtidos com a configuração C;
- Para o período de 7 s, a configuração C apresenta melhores resultados que as restantes configurações, para a maioria dos rumos testados. Para o rumo de S, a configuração A apresenta valores de  $H/H_0$  inferiores na zona dos passadiços relativamente às outras soluções;
- Para o período de 12 s, a configuração C apresenta melhores resultados que as restantes configurações, para todos os rumos, excepto para o rumo S, onde a configuração A apresenta melhores resultados. No entanto, estes valores são próximos dos obtidos com a configuração C.

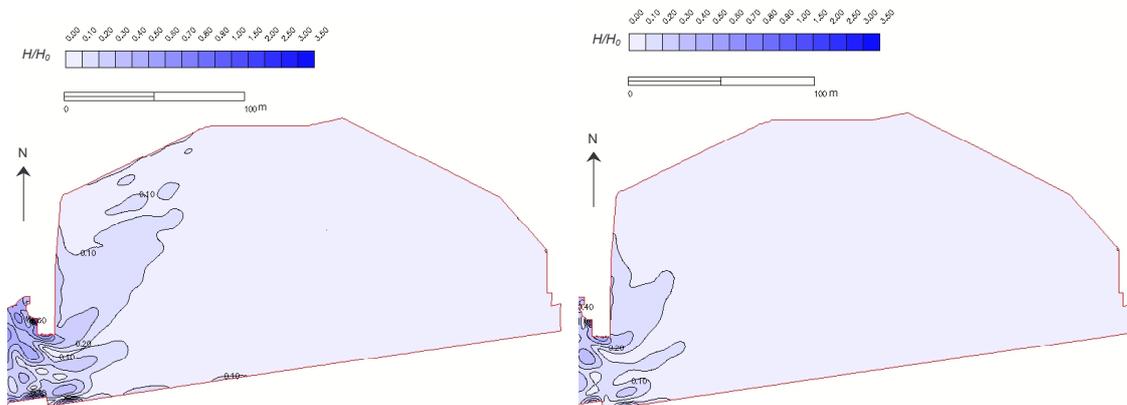
Para o nível de baixa-mar, observa-se que, em geral, a configuração C conduz a menores valores do que as restantes configurações. No entanto, para este nível (baixa-mar), as diferenças dos valores do índice de agitação entre as três configurações são pouco significativas.



*Configuração actual*

*Configuração A*

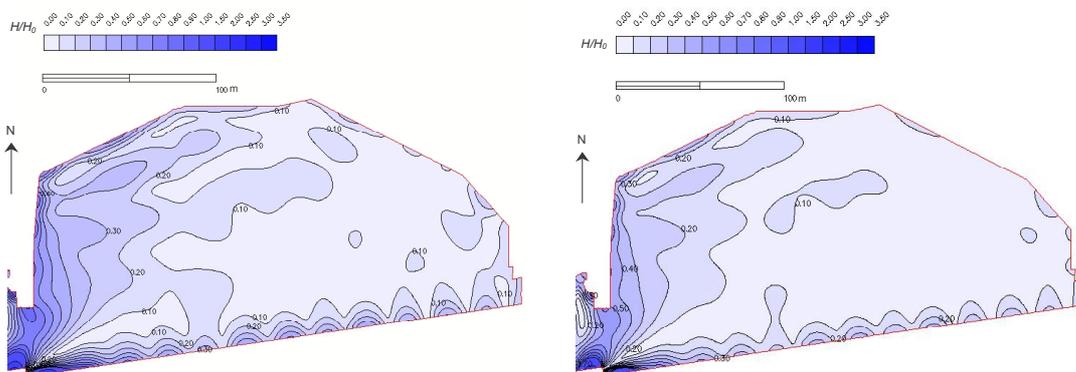
Figura 20 – Zona interior da marina. Configurações actual e A. Diagramas de isolinhas dos índices de agitação, para uma onda incidente de período  $T=4$  s e direcção de SSW. NM= +2.9 m (Z.H.).



*Configuração B*

*Configuração C*

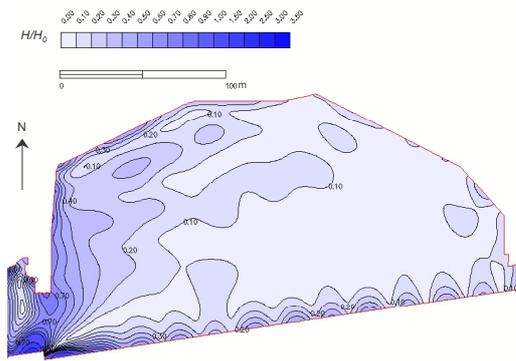
Figura 21 – Zona interior da marina. Configurações B e C. Diagramas de isolinhas dos índices de agitação, para uma onda incidente de período  $T=4$  s e direcção de SSW. NM= +2.9 m (Z.H.).



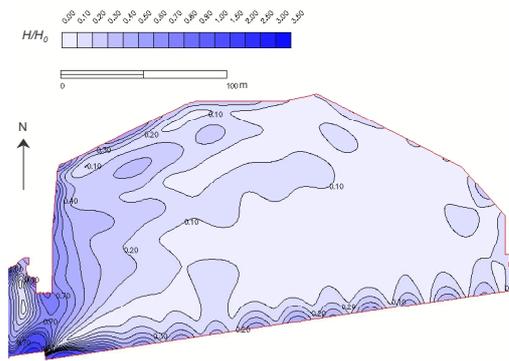
*Configuração actual*

*Configuração A*

Figura 22 – Zona interior da marina. Configurações actual e A. Diagramas de isolinhas dos índices de agitação, para uma onda incidente de período  $T=7$  s e direcção de SSW. NM= +2.9 m (Z.H.).

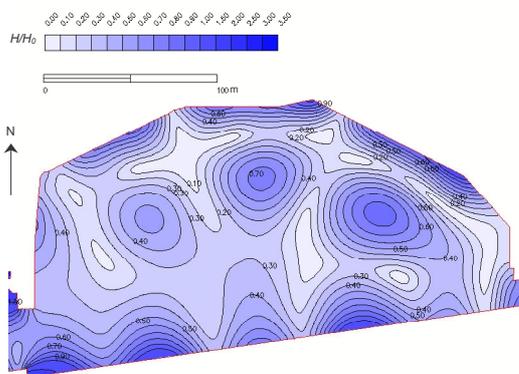


*Configuração B*

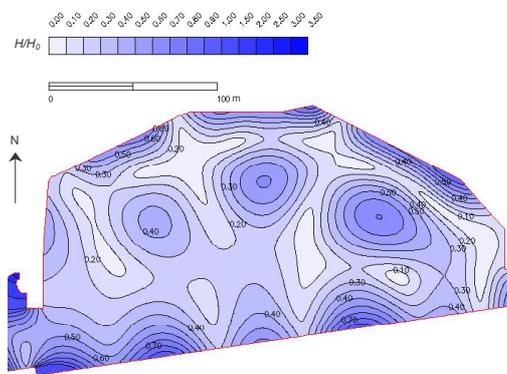


*Configuração C*

Figura 23 – Zona interior da marina. Configurações B e C. Diagramas de isolinhas dos índices de agitação, para uma onda incidente de período  $T=7$  s e direcção de SSW. NM= +2.9 m (Z.H.).

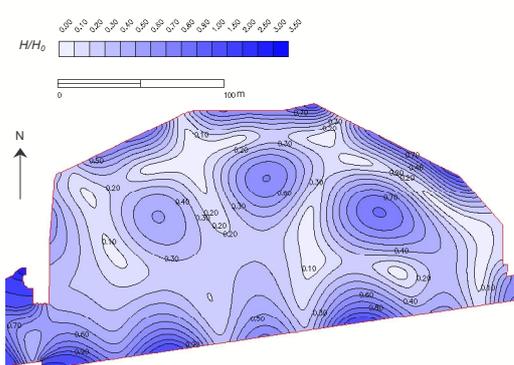


*Configuração actual*

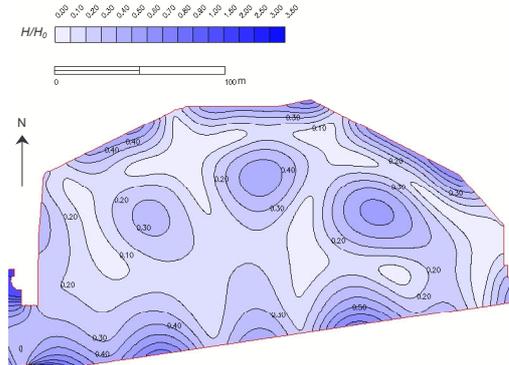


*Configuração A*

Figura 24 – Zona interior da marina. Configurações actual e A. Diagramas de isolinhas dos índices de agitação, para uma onda incidente de período  $T=12$  s e direcção de SSW. NM= +2.9 m (Z.H.).



*Configuração B*



*Configuração C*

Figura 25 – Zona interior da marina. Configurações B e C. Diagramas de isolinhas dos índices de agitação, para uma onda incidente de período  $T=12$  s e direcção de SSW. NM= +2.9 m (Z.H.).

A comparação das diferentes configurações alternativas, A, B e C (através do Quadro 1 e do Quadro 2, e da Figura 14 à Figura 25) permite chegar à conclusão que a configuração C é a que proporciona um maior abrigo à agitação incidente para a generalidade dos períodos e direcções de onda testados e, mais especificamente, na zona dos passadiços. Tal pode ser verificado através do Quadro 3, onde se apresenta de forma resumida, para cada período, direcção de onda incidente e nível de maré, qual das soluções conduziu a menores índices de agitação no interior da marina.

Quadro 3 – Escolha da configuração.

Nível de maré (m)	T (s)	Comparação entre configurações				
		S	S-11.25°-W	SSW	S-33.75°-W	SW
Baixa-mar	4	B*	C	A*	C	A*
	7	B*	C	C	A*	C
	12	C	C	C	C	A
Preia-mar	4	C	C	A*	C	C
	7	A	C	C	C	C
	12	A*	C	C	C	C

\* valores próximos dos obtidos com a configuração C

Do Quadro 3, pode-se observar que realmente a configuração C é mais eficaz do que as restantes configurações para o nível de preia-mar e para a maioria das condições de agitação incidente testadas. Para o nível de baixa-mar, a eficácia da configuração C face às restantes configurações não é tão notória, uma vez que todas as configurações são eficazes na protecção da marina à agitação marítima incidente.

## 5. CONCLUSÕES

Nesta comunicação, descreveu-se o estudo de propagação da agitação marítima no interior da marina da Quinta do Lorde, situada na ilha da Madeira, considerando quatro diferentes configurações geométricas da marina. O objectivo do estudo foi o de avaliar qual a configuração para a marina que permite uma maior protecção à agitação incidente. Os estudos foram realizados com o modelo numérico de ondas regulares DREAMS. Efectuaram-se cálculos para condições de agitação incidente caracterizadas por períodos de onda de 4 s, 7 s e 12 s e rumos à entrada da zona de cálculo de SW, S-33.75°-W, SSW, S-11.25°-W e S. Os níveis de maré considerados foram de +0.2 m (Z.H.) e de +2.9 m (Z.H.).

Os resultados mostraram que, em geral:

- Todas as configurações testadas proporcionam um maior abrigo à agitação incidente, face ao observado na configuração actual, qualquer que seja o nível de maré;
- O abrigo conferido pelas configurações propostas é maior para o nível de baixa-mar, do que para o nível de preia-mar;
- A protecção das configurações alternativas à agitação incidente é mais eficaz para o período de 4 s e vai diminuindo à medida que o período da onda aumenta. Este comportamento é especialmente notório para o nível de baixa-mar em todas as configurações, enquanto que para o nível de preia-mar este facto não é tão óbvio.

A comparação das diferentes configurações alternativas, A, B e C, permitiu chegar à conclusão de que a configuração C é a que proporciona um maior abrigo à agitação incidente para a generalidade dos períodos e direcções de onda testados e, mais especificamente, na zona dos passadiços (zona A). A configuração C é mais eficaz do que as restantes configurações para o nível de preia-mar e para a maioria das condições de agitação incidente testadas. Para o nível de baixa-mar, a eficácia da configuração C face às restantes configurações não é tão notória, uma vez que todas as configurações são eficazes na protecção da marina à agitação marítima incidente.

É ainda de notar que a avaliação do abrigo da marina dependerá muito da frequência de ocorrência dos rumos, alturas e períodos de onda à entrada da mesma e que as conclusões aqui apresentadas foram baseadas nos valores dos índices de agitação obtidos para cada caso estudado, não tendo em conta os efeitos do galgamento de estruturas, nem da rebentação das ondas. De notar que, a eventual ocorrência de rebentação ao reduzir as alturas de onda vai limitar os seus valores no interior da marina.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Somague Engenharia Madeira, S.A. a autorização para publicação dos resultados destes estudos. Expressam os seus agradecimentos, também, aos técnicos experimentadores Franklin Carvalho e Branca Branco pelo apoio na revisão do texto e na produção das figuras.

## REFERÊNCIAS

- Berkhoff, J.C.W. (1972) "Computation of combined refraction-diffraction". *Proc. 13th International Conference in Coastal Engineering*, Vancouver, Canada, Vol. 2, pp. 471-490.
- Covas, J.M.A. (1992) *Modelo matemático de cálculo da agitação e ressonância em portos e zonas abrigadas (Método dos elementos de fronteira)*. Relatório 86/92. LNEC, Março.
- Fortes, C.J.E.M. (1993) *Modelação matemática da refração e difracção combinadas de ondas marítimas. Análise pelo método dos elementos finitos*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico.
- Fortes, C.J.E.M.; Covas, J.M.A.; Fernandes, J.L.M. (1997) "Harbour resonance and wave agitation studies in Baleeira's harbour by using the mathematical model DREAMS". *Proc. 3rd Int. Conference WAVES 97 – Ocean wave Measurement and Analysis*, ASCE, Vol. 2, pp. 1495-1509. Virginia, USA.
- Seelig, W.N.; Ahrens, J.P. (1995) "Wave reflection and energy dissipation by coastal structures". *Wave forces on inclined and vertical wall structures*, ASCE, pp. 28-55.