

Cálculo do galgamento no quebra-mar poente do porto de pesca de Albufeira: análise de sensibilidade dos parâmetros dos modelos AMAZON e IH-2VOF

Sofia Mariz¹, Tiago Patrício², Maria Teresa Reis³, Maria da Graça Neves³, António Pires Silva¹, Eric Didier³ e Keming Hu⁴

¹Instituto Superior Técnico, TULisbon, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal
email: msofiamariz@ist.utl.pt; aps@civil.ist.utl.pt

²Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica, 2829-516, Portugal
email: tiagomspatricao@gmail.com

³Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Av. do Brasil 101, 1700 – 066 Lisboa, Portugal
email: treis@lnec.pt; gneves@lnec.pt; edidier@lnec.pt

⁴Haskoning UK Ltd, Royal Haskoning, Burns House, Harlands Road, Haywards Heath, RH16 1PG, UK
email: k.hu@royalhaskoning.com

Sumário

No âmbito do projeto de investigação “SPACE – Desenvolvimento e validação de um modelo Smoothed Particle Hydrodynamic para aplicações a estruturas costeiras”, pretende-se modelar numericamente o fenómeno do galgamento em estruturas porosas. O caso de estudo é o quebra-mar poente do Porto de Pesca de Albufeira, para o qual se efetuarão medições de campo. Neste artigo apresenta-se o estudo de sensibilidade do caudal médio galgado obtido por dois modelos numéricos – AMAZON e IH-2VOF - às características dos meios porosos, que deverão ser calibradas, concluindo-se que a variação da porosidade do manto principal é a que mais influencia o valor do caudal.

Palavras-chave: Galgamento; Quebra-mar; Modelação numérica; AMAZON; IH-2VOF.

1 INTRODUÇÃO

No âmbito do projeto de investigação “SPACE – Desenvolvimento e validação de um modelo Smoothed Particle Hydrodynamics para aplicações a estruturas costeiras”, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, que envolve o LNEC e a Universidade do Algarve, pretende-se modelar numericamente o fenómeno do galgamento em estruturas porosas. O caso de estudo é o quebra-mar Poente do Porto de Pesca de Albufeira, para o qual se efetuarão medições de campo.

No artigo são apresentadas e discutidas as simulações obtidas até à data com os modelos numéricos AMAZON e IH-2VOF, no que se refere à elevação da superfície livre e ao galgamento do quebra-mar Poente do Porto de Pesca de Albufeira. São ainda referidas as vantagens e limitações de cada um dos modelos na sua aplicação a este caso de estudo.

Estes modelos serão validados e calibrados com recurso a dados de protótipo a recolher no âmbito deste projeto no ano de 2012.

2 CASO DE ESTUDO

O Porto de Pesca de Albufeira é protegido por duas obras marítimas em talude, que são designadas por quebra-mar Nascente e quebra-mar Poente. As obras de construção do porto tiveram início em 1999, tendo terminado em 2002.

A secção do quebra-mar a estudar, que corresponde ao quebra-mar Poente, tem um talude exterior com um declive de 3:2 e desenvolve-se entre a cota +7.0 m (ZH) e uma cota que dista do fundo natural 0.5 m (-4.0 m (ZH)). É protegido por enrocamentos de 90 a 120 kN dispostos em duas camadas, tendo como filtros duas camadas de enrocamentos de 10 a 30 kN. A fundação do talude processa-se sobre um tapete de TOT com 0.5 m de espessura (Fig.1). Quer a berma de coroamento exterior (à cota +7.0 m (ZH)), quer a berma de coroamento interior (à cota +6.5 m (ZH)), têm cerca de 5.9 m de largura. Na zona central do coroamento desenvolve-se um passadiço de betão com 3.0 m de largura, coroamento à cota +6.5 m (ZH) e fundação à cota +4.0 m (ZH). É de referir que os blocos do manto resistente apresentam uma extrema arrumação.

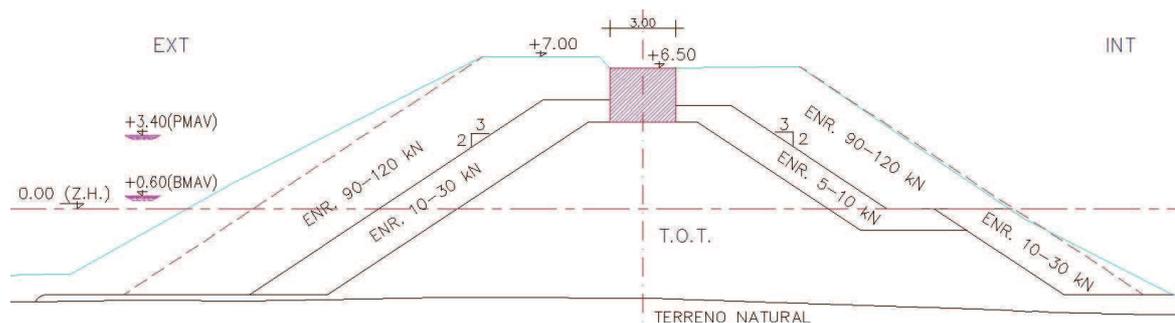


Fig.1. Perfil do quebra-mar Poente do Porto de Pesca de Albufeira.

Está planeada para 2012 uma campanha de campo neste molhe (Fig.2), que permitirá determinar quer o caudal galgado, quer a agitação que incide na estrutura [1].



Fig.2. (A) Imagem da área do Porto de Pesca de Albufeira (adaptada do Google Earth, 2006) com indicação da zona onde serão realizados os trabalhos de batimetria, localização da câmara de vídeo e transdutor de pressão aos ~10m de profundidade; (B) Quebra-mar Poente do Porto de Albufeira onde decorrerão as campanhas de campo com indicação da secção a estudar; (C) Representação esquemática da secção do quebra-mar e posicionamento dos equipamentos (PTs e ADV) [1].

Tendo em conta as condições locais de batimetria, nível de maré e agitação marítima e ainda as características do perfil da secção de estudo do quebra-mar Poente do Porto de Albufeira, foram realizados cálculos preliminares dos caudais médios de galgamento, com base em ferramentas empíricas, com o intuito de melhor definir as condições para as quais se deverão realizar as campanhas de campo [1]. Neste artigo, e para a realização de análises de sensibilidade aos parâmetros dos modelos numéricos (Secção 4), seleccionou-se um caso com ocorrência clara de galgamento, caracterizado por agitação marítima incidente regular, com um período $T = 12$ s e uma altura de onda $H = 4$ m, e um nível de maré de +3.5 m (ZH), que corresponde aproximadamente ao nível de preia-mar de águas vivas (PMAV) em Albufeira, de acordo com a Tabela de Marés de 2011 do Instituto Hidrográfico.

3 MODELAÇÃO NUMÉRICA

A fim de aprofundar o conhecimento das condições de galgamento expectáveis no quebra-mar Poente do Porto de Pesca de Albufeira, em termos dos caudais médios de galgamento, aplicaram-se dois modelos numéricos: o modelo AMAZON e o modelo IH-2VOF, que se descrevem resumidamente nas secções 3.1 e 3.2, respetivamente.

3.1 Modelo AMAZON

O modelo AMAZON, que é suficientemente rápido para poder ser utilizado em projeto, foi desenvolvido originalmente na Manchester Metropolitan University [2] utilizando a linguagem de programação C++. A sua formulação baseia-se nas equações não lineares de água pouco profunda (NLSW), resultado de uma simplificação das equações de Navier-Stokes por integração na profundidade e assumindo uma distribuição hidrostática de pressões na profundidade. O modelo permite simular ondas irregulares, quer na versão unidimensional (canal), aqui utilizada, quer na bidimensional (em planta) e a rebentação é simulada recorrendo ao conceito de macaréu. O AMAZON incorpora um modelo de absorção de ondas imposto na fronteira de entrada do modelo que permite absorver mais de 98% das ondas reflectidas pela estrutura. Este método de absorção permite colocar a fronteira de entrada perto da estrutura, evitando a modelação desde águas profundas, onde o modelo tem limitações, já que se baseia na resolução das equações NLSW. O AMAZON permite gerar uma malha constituída por elementos que podem ter qualquer forma e dimensões variáveis. O modelo permite obter séries temporais da elevação da superfície livre em diversos pontos do domínio, velocidades integradas na vertical e, através destas, as séries temporais de caudais instantâneos, o caudal médio e o caudal de pico em vários pontos da estrutura galgada.

O AMAZON tem sido validado nos mais variados casos de estudo [2], envolvendo escoamentos permanentes e não permanentes, viscosos e não-viscosos, subcríticos e supercríticos. Tem sido também extensivamente usado e validado para estudar o galgamento de estruturas impermeáveis. Contudo, o AMAZON não tem sido sistematicamente usado e validado no estudo de galgamento de estruturas permeáveis, devido ao facto de, na sua versão original, não ter em conta, explicitamente, escoamentos em meios porosos. No entanto, desde 2007 que o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), em colaboração com a Royal Haskoning, UK, tem vindo a efetuar alterações ao modelo de forma a permitir o cálculo do galgamento de estruturas marítimas porosas e a proceder à sua validação sistemática [4, 5, 6, 7, 8]. Para simular este tipo de escoamento, foram implementadas no modelo as equações de Darcy e de Forchheimer [4]. No presente caso de estudo, analisa-se uma estrutura porosa e o cálculo do galgamento é feito à escala do protótipo, pelo que se utilizaram as equações de Forchheimer. Neste caso, para o cálculo do escoamento no meio poroso é necessário definir as propriedades do meio e calibrar alguns parâmetros que dependem do escoamento, nomeadamente os coeficientes α e β (coeficientes de atrito linear e não-linear, respetivamente) e IP (velocidade máxima que o escoamento de água pode ter durante a transferência entre a camada porosa e a camada superficial). A porosidade, n , e o diâmetro nominal do enrocamento, D_{50} , são parâmetros que podem ser obtidos a partir das características do protótipo.

Apesar das limitações do AMAZON, principalmente relacionadas com o uso da teoria de onda em condições de água pouco profunda, é uma ferramenta que já é usada no dimensionamento de estruturas galgáveis e em estudos de previsão de inundações, dado que permite simular rapidamente 1000 (ou mais) ondas.

Hu [2] e Reis et al. [4, 5, 6] apresentam uma descrição detalhada do modelo e das suas equações.

3.2 Modelo IH-2VOF

O modelo numérico IH-2VOF [3] é baseado nas equações RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) e descreve o escoamento no interior e no exterior de estruturas permeáveis. Este modelo foi já aplicado a casos de estudo de galgamento em quebra-mares de talude à escala de protótipo, com bons resultados [3, 15].

O IH-2VOF é baseado no modelo COBRAS, um modelo bidimensional que resolve as equações completas de Reynolds 2DV (RANS) [9], ao que se incorporou um modelo não linear de turbulência, $k-\varepsilon$, tridimensional [10]. O modelo apresenta ainda um método de seguimento da elevação da superfície livre do tipo *Volume of Fluid* (VOF).

Para o escoamento em meios porosos inclui um modelo de dissipação de energia não linear, que corresponde a uma adaptação das equações RANS, equações VARANS (Volume-Averaged Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations) [15], e que se obtêm a partir de uma integração num volume de controlo no meio poroso. Para o cálculo do escoamento no meio poroso com o modelo IH-2VOF é necessário definir as propriedades do meio (a porosidade, n , e o diâmetro nominal das peças do manto, D_{50}) e calibrar alguns parâmetros que dependem do escoamento, concretamente os coeficientes α e β , resultantes da aplicação da equação estendida de Forchheimer [3] resolvida através das equações VARANS. Os obstáculos e zonas de diferentes porosidades são definidos através de funções contínuas. Para o cálculo do escoamento no meio poroso é necessário definir as propriedades do meio, tais como a porosidade e o tamanho dos elementos que o compõem e um conjunto de parâmetros adicionais que dependem do escoamento e que precisam de ser calibrados.

O IH-2VOF é uma nova versão do modelo COBRAS desenvolvido na Universidade de Cantábria para ultrapassar algumas das limitações iniciais e especialmente para tornar o programa uma ferramenta útil para aplicações práticas de engenharia. Muitas das modificações têm sido baseadas no extensivo trabalho de validação do modelo para estruturas emersas e submersas e para condições de rebentação em taludes permeáveis [11, 12].

4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE AOS PARÂMETROS DOS MODELOS

4.1 Modelo AMAZON

Para realizar a análise de sensibilidade aos parâmetros do AMAZON que caracterizam os meios porosos, o modelo foi aplicado à escala do protótipo ao caso selecionado (+3.5 m (ZH), $T = 12$ s, $H = 4$ m).

Tal como referido anteriormente, o AMAZON baseia-se nas equações não lineares de água pouco profunda (NLSW). Assim, começou por se verificar se a consideração de água pouco profunda é válida para o caso selecionado, admitindo que o período da onda ao largo (T_o) seria igual ao período no pé da estrutura (T). Para tal, e através da teoria linear das ondas, estimou-se o comprimento de onda (L) no pé da estrutura na secção em análise (localizado à profundidade $d_s = 7.82$ m). Verificou-se que, para o caso em estudo, a estrutura se encontra em águas intermédias ($L = 101.24$ m), próxima de águas pouco profundas, já que $5.06 \text{ m} = L/20 < 7.82 \text{ m} < L/2 = 50.62 \text{ m}$. Seguidamente, verificou-se se o valor de d/L_o se encontra no intervalo 0.016 - 0.19, indicado na literatura existente como sendo o intervalo para o qual se obtêm bons resultados com modelos NLSW [13], sendo d a profundidade na fronteira de entrada do modelo ($d = 9.05$ m) e L_o o comprimento de onda em águas profundas ($L_o = 224.83$ m). O valor estimado foi de $d/L_o = 0.04$. Assim, não se esperam erros significativos no cálculo numérico devido à aproximação a águas pouco profundas.

Para otimização dos resultados, e seguindo a recomendação proposta em [14], a fronteira de entrada deve localizar-se a aproximadamente um comprimento de onda, L_s , do pé da estrutura, sendo L_s o comprimento de onda em pequenas profundidades ($L_s = 105.08$ m). Neste caso, optou-se por colocar a fronteira ligeiramente a barlar, no ponto coincidente com a medição da agitação no protótipo com um transdutor de pressão colocado a cerca de 10 m de profundidade e a aproximadamente 111 m do pé da estrutura (-5.55 m (ZH)). A fronteira de saída do modelo é uma fronteira de absorção total e foi colocada a 8.7 m a jusante do passadiço de betão do quebra-mar.

O domínio de cálculo tem uma extensão de 150 m de comprimento e o número total de células utilizadas foi de 327. Definiu-se uma malha de cálculo não uniforme ao longo de todo o perfil (Fig.3). Na zona mais profunda do domínio, ou seja, em frente ao local de implantação do quebra-mar as células têm 1 m de comprimento. Na zona do quebra-mar até à zona de medição do galgamento, no passadiço de betão do quebra-mar, este comprimento

varia entre 0.05 m e 0.1 m. Esta discretização baseia-se na experiência adquirida em estudos prévios de convergência do modelo para o cálculo do galgamento e é suficientemente fina para assegurar a precisão necessária à análise de sensibilidade e suficientemente larga para reduzir ao mínimo o tempo de cálculo computacional.

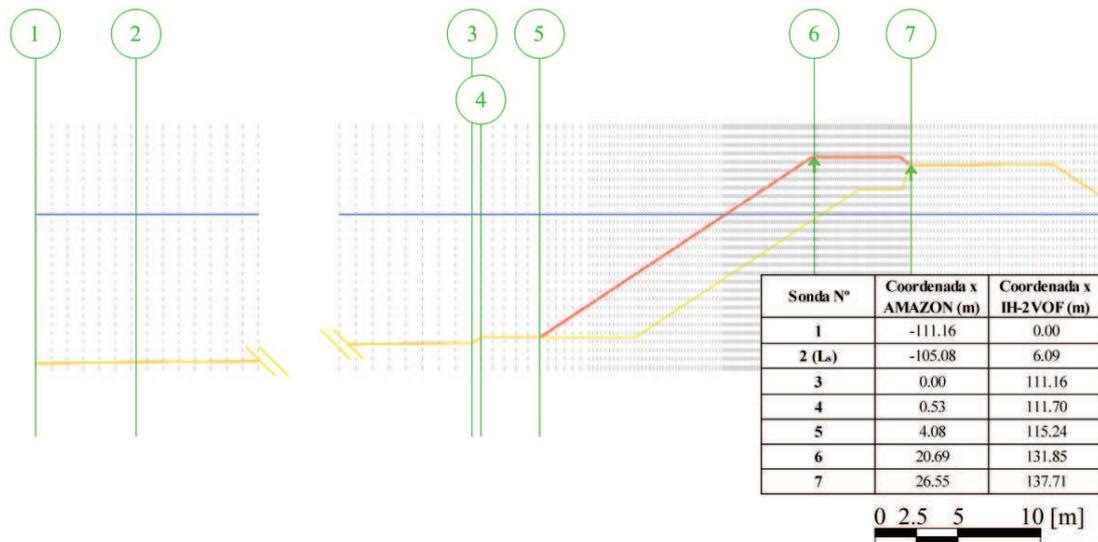


Fig.3. Representação esquemática da discretização da malha computacional utilizada do quebra-mar com uma única camada porosa (a vermelho), dos fundos e passadiço de betão impermeáveis (a amarelo), do nível de água em repouso (a azul) e da localização das secções de medição (a verde) e respetivas coordenadas.

As características geométricas dos fundos em frente ao quebra-mar e da envolvente da estrutura até ao final do passadiço de betão foram fielmente representados no AMAZON. Os fundos e o passadiço de betão foram modelados como impermeáveis e sem atrito. O modelo AMAZON apenas permite representar uma camada porosa, pelo que se definiu como camada porosa a correspondente ao manto principal da estrutura, i.e. a camada do manto de proteção composto por enrocamentos de 90 a 120 kN (Fig.1), com um diâmetro médio equivalente, D_{50} , de 1.6 m, calculado como sendo o diâmetro nominal baseado na massa dos blocos. Assim, assumiu-se, no modelo, que o manto secundário (com enrocamento de 10 a 30 kN) e o TOT se comportam como materiais totalmente impermeáveis.

A metodologia que foi usada para analisar a sensibilidade do AMAZON aos parâmetros da camada porosa começou pela definição dos valores base dos parâmetros n , α , β e IP . Para os parâmetros α e β , existem valores recomendados na literatura [15]: para α os valores variam entre 1100 e 1800 e para β variam entre 0.55 e 1.1. O valor da porosidade foi determinado com base na análise visual do manto principal e na informação do perfil da estrutura: variou-se n entre 0.30 e 0.40, devido ao enrocamento apresentar uma grande arrumação.

Relativamente ao parâmetro IP , alguns autores (e.g. [16]) consideram que o valor do gradiente hidráulico na interface entre as duas camadas é inferior a 1, o que corresponde a considerar à partida que existe um valor único de IP que se determina a partir dos valores de D_{50} , n , α e β [4]. No AMAZON, assume-se que IP é um dado do modelo que deve ser calibrado e cujo valor máximo é o valor sugerido por esses autores. No caso considerado, variou-se o valor de IP entre 0.1 m/s e o valor para o qual já não se observa galgamento na sonda 7 (Fig.3) ou até se atingir o valor máximo de IP calculado com base em [4].

Foram consideradas sete secções de medição no modelo numérico (Fig.3): duas localizadas a barlar da estrutura (sondas 1 e 2), três no pé da estrutura (sondas 3 a 5), e as restantes no seu coroamento (sondas 6 e 7). As sondas 6 e 7, que estão localizadas sobre o passadiço de betão, foram utilizadas no cálculo do caudal galgado em dois pontos, sendo o caudal na sonda 7 o que será apresentado como resultado da análise de sensibilidade aos parâmetros do modelo. As sondas são coincidentes com algumas das sondas utilizadas no modelo IH-2VOF (ver

4.2). Cada corrida de análise de sensibilidade tem a duração de aproximadamente 100 ondas, o que corresponde a 1200 s no AMAZON para o caso selecionado.

De modo a ilustrar a metodologia acima descrita, é aqui apresentada a análise preliminar de sensibilidade dos parâmetros n , α , β e IP do modelo AMAZON. Como as simulações mostraram que o parâmetro α não leva a alterações significativas do caudal médio galgado (sonda 7 da Fig.3), na Fig.4 apresenta-se a dependência deste caudal com a variação dos restantes parâmetros.

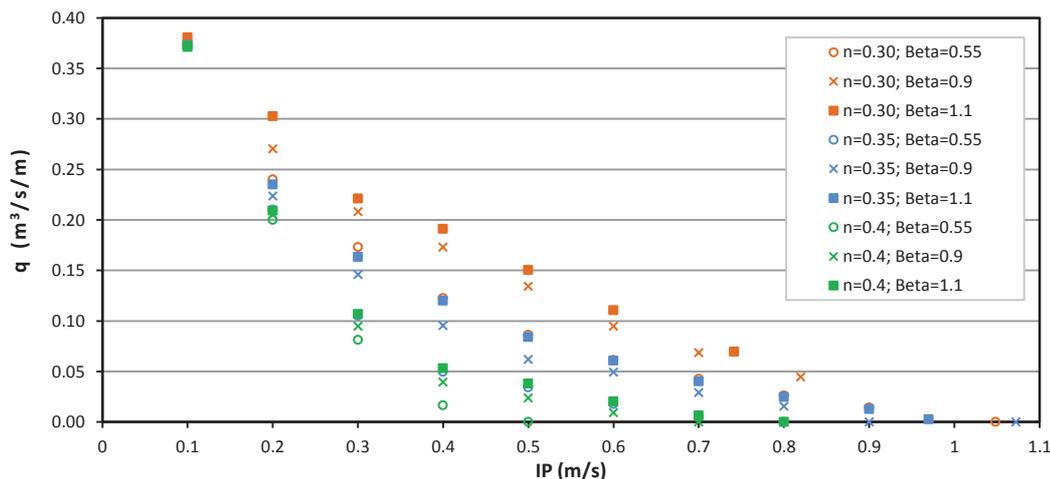


Fig.4. Caudal médio galgado, q , com a variação dos parâmetros n , β e IP do meio poroso, para $\alpha = 1500$.

Da análise dos resultados obtidos, para um mesmo valor de IP , pode concluir-se que a variação de n é a que mais influencia o valor do caudal médio galgado por unidade de comprimento e a de β a que menos parece influenciar. A variação de IP é também relevante no valor desta variável, para qualquer valor de n e β . Para os maiores valores de IP , para os quais se obtêm os menores valores do caudal (próximo de zero), a influência dos parâmetros é menos significativa e para $IP = 0.1$ m/s não parece haver impacto da variação quer de n , quer de β , o que poderá dever-se à saturação do meio poroso.

O modelo foi executado num computador com processador Intel® Core™ i7 CPU a 2.93GHz com 6 GB de memória RAM e o tempo médio de cada corrida foi de cerca de 11 min para 1236 s de simulação.

4.2 Modelo IH-2VOF

Tal como referido anteriormente, para o cálculo do escoamento no meio poroso com o modelo IH-2VOF é necessário definir as propriedades do meio (n e D_{50}) e calibrar alguns parâmetros que dependem do escoamento (α e β).

Neste caso, a estrutura foi representada no modelo por quatro camadas porosas diferentes, correspondentes aos quatro mantos existentes (Fig.1): manto principal, MP, manto secundário, MS, manto secundário interior, MSi e TOT, todas compostas por enrocamento.

A metodologia que foi usada para analisar a sensibilidade dos resultados do IH-2VOF aos parâmetros de cada manto começou pela definição dos valores base dos parâmetros de cada manto. O diâmetro é calculado como sendo o diâmetro nominal, baseado na massa dos blocos. Para os parâmetros α e β existem valores recomendados na literatura [11]: para α os valores variam entre 200 e 1000 e para β variam entre 0.8 e 1.1. Tal como para o AMAZON, os valores da porosidade foram determinados com base na análise visual do manto principal e na informação do perfil da estrutura. As principais características dos diferentes mantos são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Valores dos parâmetros dos meios porosos adotados como valores base.

	n (-)	α (-)	β (-)	D_{50} (m)
MP	0.35	1000	0.7	1.6
MS	0.35	1000	1.1	0.9
MSi	0.35	1000	1.1	0.7
TOT	0.25	1000	0.8	0.4

Após esta definição, para o caso selecionado (+3.5 m (ZH), $T = 12$ e $H = 4$ m) e considerando agitação regular, a aplicação do programa para efetuar a análise de sensibilidade consiste na alteração, para um manto de cada vez, do valor de cada parâmetro isoladamente, mantendo os outros valores inalterados e iguais aos valores base inicialmente definidos. A gama de valores utilizada é a apresentada no Quadro 2.

Quadro 2. Valores dos parâmetros dos meios porosos usados no estudo de sensibilidade.

	n (-)	α (-)	β (-)
MP, MS e MSi	0.30, 0.35, 0.40	200, 500, 1000	0.7, 0.9, 1.1
TOT	0.20, 0.25, 0.30	200, 500, 1000	0.7, 0.8, 0.9

A análise de sensibilidade deve dar uma indicação da importância para o cálculo do galgamento de cada parâmetro em cada camada porosa. Esta informação é bastante importante para decidir acerca dos valores dos parâmetros da camada porosa a serem usados no AMAZON para o cálculo do galgamento, dado que neste modelo as diferentes camadas porosas do modelo físico serão simuladas usando uma única camada porosa homogénea.

A localização, dimensões e geometria da estrutura experimental foram reproduzidos no domínio computacional, com 163.0 m de comprimento e 20.0 m de altura, reproduzindo-se as principais dimensões do protótipo, com o batedor numérico localizado na zona onde haverá medições de agitação.

A malha utilizada tem as seguintes características: a grelha tem uma malha de tamanho variável nas direcções x e y , com comprimento da célula, dx , que varia desde 0.6 m na entrada do domínio a 0.3 m na zona do quebra-mar e largura da célula, dy , que varia entre de 0.25 m e 0.20 m, sendo esta última utilizada desde o fundo até 4.0 m acima do nível da água em repouso. O número total de células foi de 319x92. A Fig.5 mostra a grelha computacional na zona próxima da estrutura, incluindo a geometria das quatro camadas porosas e a estrutura de coroamento impermeável. Tal como para o AMAZON, a dimensão da malha foi escolhida para que fosse suficientemente fina para assegurar a precisão necessária a esta análise de sensibilidade e suficientemente grosseira para reduzir ao mínimo o tempo de cálculo computacional.

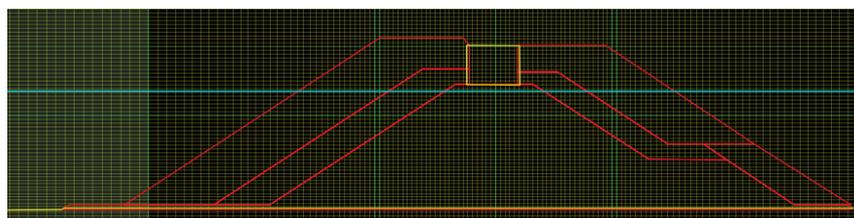


Fig.5. Aspecto da grelha computacional na zona próxima da estrutura com as cinco camadas porosas (a vermelho), a estrutura de coroamento impermeável (a amarelo) e o nível de água em repouso (a azul).

Foram consideradas catorze secções de medição no modelo numérico (Fig.6): três localizadas a barlar da estrutura (sondas 1 a 3), três no pé da estrutura (sondas 4 a 6), e as restantes no coroamento da estrutura. As

sondas 10 a 12, que estão localizadas sobre o passadiço de betão, foram as utilizadas no cálculo do caudal galgado. As sondas 1, 2, 4 a 7 e 10 estão localizadas na mesma posição que as sondas no modelo AMAZON (ver 4.1). Cada simulação tem a duração de aproximadamente 100 ondas, o que corresponde a 1200 s no IH-2VOF.

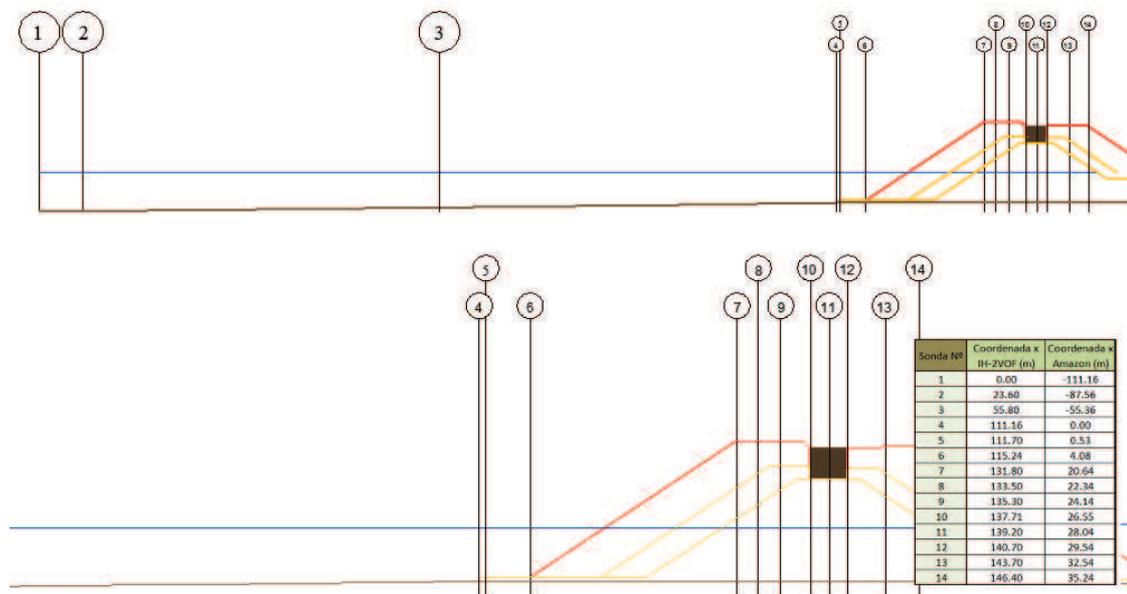


Fig.6. Localização das secções de medição e respectivas coordenadas.

De modo a ilustrar a metodologia acima descrita, é aqui apresentada a análise preliminar relativa ao manto principal, já que se espera ser o que mais influencia o galgamento. Assim, na Fig.7 apresentam-se os resultados do caudal médio galgado no ponto mais a barlar da superestrutura, q (sonda 10 da Fig.6), para cada valor de n , α e β do MP.

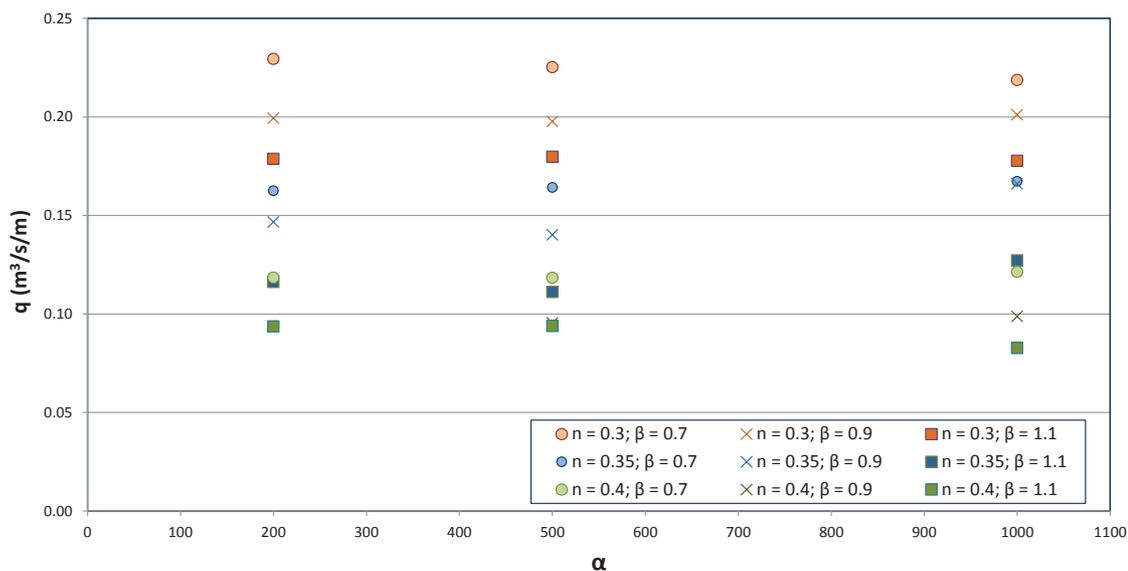


Fig.7. Influência das características do meio poroso do MP nos valores do caudal médio galgado, q .

Da análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que a variação de n do manto principal é a que mais influencia o valor de q seguido de β . O parâmetro α tem pouca influência no caudal, tal como ocorria com o modelo AMAZON. Para valores de $n = 0.3$, obtêm-se valores $0.18 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} < q < 0.23 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$; para $n = 0.35$, $0.11 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} < q < 0.17 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ e para $n = 0.40$, $0.08 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} < q < 0.12 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$. Esta gama de valores é obtida, no caso do modelo AMAZON (ver Fig.4) para valores de IP da ordem de 0.3 - 0.4 m/s.

Neste caso, a rebentação ocorre sobre o talude do manto principal (Fig.8), sendo o galgamento essencialmente devido ao espraiamento da onda após a rebentação.

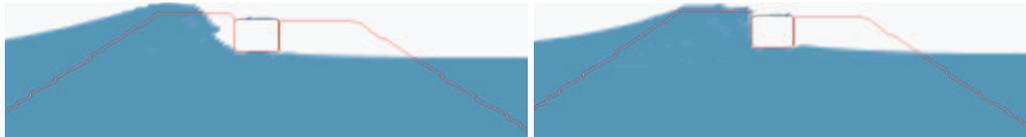


Fig.8. Aspecto da elevação da superfície livre para $\alpha = 1000$, $\beta = 0.7$ e $n = 0.35$.

O modelo foi executado num computador com processador Intel® Core™ i7 CPU a 2.93GHz com 6 GB de memória RAM e o tempo médio de cada corrida foi de cerca de 450 min para 1200 s de simulação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, apresenta-se um estudo de sensibilidade, envolvendo o caudal médio galgado obtido com os modelos AMAZON e IH-2VOF, à variação dos parâmetros que determinam o escoamento no interior dos mantos porosos do quebra-mar.

Para estes cálculos considerou-se um nível de maré, +3.5m (ZH), que corresponde aproximadamente ao nível de preia-mar de águas vivas (PMAV) em Albufeira, e agitação regular com um período de 12 s e uma altura de onda de 4 m.

Conclui-se que a porosidade dos mantos é o parâmetro que mais influencia os resultados e por isso o valor que deve ser determinado com o maior rigor possível. Para o AMAZON o valor de IP é também relevante. A comparação dos resultados obtidos com a mesma porosidade pelos dois modelos sugere que este valor deveria ser da ordem de 0.3 m/s - 0.4 m/s.

Uma vez que os resultados do modelo IH-2VOF podem contribuir para a definição das características da camada porosa que será utilizada no modelo numérico AMAZON para simular os diferentes mantos do quebra-mar, a análise de sensibilidade realizada para o manto principal será também efectuada para os outros mantos do quebra-mar, tendo especial atenção na definição de qual é a camada porosa que mais influencia o escoamento global quando ocorre galgamento.

Esta análise de sensibilidade é o primeiro passo para a calibração dos modelos com base em dados de protótipo que se esperam vir a recolher no corrente ano, no âmbito do Projecto SPACE. Uma vez calibrados, os caudais médios galgados obtidos serão comparados com os resultados estimados com as ferramentas empíricas disponíveis na literatura [13], permitindo avaliar as vantagens e limitações de cada ferramenta na sua aplicação a este caso de estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) o financiamento do projeto PTDC/ECM/114109/2009, “SPACE – Desenvolvimento e validação de um modelo Smoothed Particle Hydrodynamic para aplicações a estruturas costeiras”.

REFERÊNCIAS

1. E. Didier, O. Ferreira, A. Matias, M.G. Neves, A. Pacheco, M.T. Reis, Desenvolvimento e validação de um modelo Smoothed Particle Hydrodynamics para aplicação a estruturas costeiras, *7^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, Delegação Portuguesa da PIANC, 2011.
2. K. Hu, *High-Resolution Finite Volume Methods for Hydraulic Flow Modelling*, PhD Thesis, Centre for Mathematical Modelling and Flow Analysis, Manchester Metropolitan University, UK, 2000.
3. I.J. Losada, J.L. Lara, R. Guanche, J.M. Gonzalez-Ondina, Numerical analysis of wave overtopping of rubble mound breakwaters, *Coastal Engineering*, 55(1), 47-62, 2008.
4. M.T. Reis, M.G. Neves, Estudo do galgamento de estruturas marítimas utilizando um modelo numérico baseado na teoria da onda em condições de água pouco profunda, *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, APRH/UNIVALI, 10(4), 397-417, 2010.
5. M.T. Reis, M.G. Neves, M.R. Lopes, K. Hu, L.G. Silva, Rehabilitation of Sines West Breakwater: wave overtopping study, *Maritime Engineering Journal*, Proc. ICE, 164(MA1), 15-32, 2011.
6. M.T. Reis, K. Hu, M.G. Neves, T.S. Hedges, Numerical modelling of breakwater overtopping using a NLSW equation model with a porous layer, *Proc. 31st ICCE*, J.M. Smith (Ed.), pp. 3097-3109, Hamburg, Germany, 2008. World Scientific, Singapore,.
7. M.T. Reis, M.G. Neves, K. Hu, Wave overtopping of a porous structure: numerical and physical modelling, *Journal of Coastal Research*, SI 56, 539-543, 2009.
8. M.T. Reis, M.G. Neves, K. Hu, M.R. Lopes, L.G. Silva, Final rehabilitation of Sines west breakwater: physical and numerical modelling of overtopping, *Proc. 9th Coasts, Marine Structures and Breakwaters: Adapting to Change*, W. Allsop (Ed.), Vol. 2, pp. 636-647 (discussão: pp. 671-672), Edinburgh, 2009. Thomas Telford, London.
9. P. Lin, P.L. -F. Liu, A numerical study of breaking waves in the surf zone, *Journal of Fluid Mechanics*, 359, 239-264, 1998.
10. T.-J. Hsu, T. Sakakiyama, P.L.-F.Liu, A numerical model for wave motions and turbulence flows in front of a composite breakwater, *Coastal Engineering*, 46, 25-50, 2002.
11. N. Garcia, J.L. Lara, I.J. Losada, 2-D Numerical analysis of near-field flow at low-crested permeable breakwaters, *Coastal Engineering*, 51, 991-1020, 2004.
12. J.L. Lara, N. Garcia, I.J. Losada, RANS modelling applied to random wave interaction with submerged permeable structures, *Coastal Engineering*, 53, 395-417, 2006.
13. T. Pullen, *N.W.H. Allsop, Use of Numerical Models of Wave Overtopping: A Summary of Current Understanding*, http://www.hrwallingford.co.uk/downloads/projects/overtopping/num_model_guidance.pdf, 2003.
14. K. Hu, D. Meyer, The validity of the nonlinear shallow water equations for modelling waverunup and reflection, *Proc. ICE Coastlines, Structures & Breakwaters '05*, W. Allsop (Ed.), pp. 195-206, Londres, 2005. Thomas Telford, Londres.
15. R.G. García, *Análisis de la Funcionalidad y Estabilidad de Obras Marítimas Mediante un Modelo Numérico Basado en las Ecuaciones de Reynolds*, Ph.D. thesis, University of Cantabria, Spain, 2007.
16. S. Clarke, N. Dodd, J. Damgaard, Modelling flow in and above a porous beach, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 130(5), 223-233, 2004.