



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

MODELAÇÃO FÍSICA DO ESPRAIAMENTO E DO GALGAMENTO DE UM QUEBRA-MAR DE TALUDE EM CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Ana MENDONÇA¹; Rute LEMOS²; Conceição J.E.M. FORTES³, Rui CAPITÃO⁴, Maria da Graça NEVES⁵, Maria Teresa REIS⁶

¹ Eng. Ambiente, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, amendonca@lnec.pt

² Eng. Civil, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, rlemos@lnec.pt

³ Eng. Civil, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, jfortes@lnec.pt

⁴ Eng. Civil, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, rcapitao@lnec.pt

⁵ Eng. Civil, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, gneves@lnec.pt

⁶ Eng. Civil, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, treis@lnec.pt

Resumo

Nesta comunicação descreve-se a análise bidimensional (2D) em modelo físico do espraio e galgamento de um quebra-mar de talude, em cenários de alterações climáticas, realizado no âmbito do projeto HYDRALAB+ (H2020-INFRAIA-2014-2015). Com efeito, a subida do nível médio do mar, bem como o aumento da intensidade e frequência de temporais, previsível em tais cenários, pode dar origem a fenómenos de espraio e galgamento das estruturas de proteção costeiras e portuárias, cada vez mais intensos e frequentes, tornando as estruturas mais vulneráveis, bem como as zonas por elas protegidas.

Assim, num canal de ondas irregulares do LNEC, foi construído um perfil de um quebra-mar de enrocamento, à escala 1:30, e definido um programa de 15 ensaios, considerando valores de altura de onda significativa, período de pico e níveis de água representativos de condições de agitação incidente extremas, a que se poderão associar os referidos cenários de alterações climáticas.

Para cada ensaio, efetuaram-se medições da elevação da superfície livre, do espraio e do caudal médio galgado. Os valores experimentais de espraio e de galgamento foram comparados com os previstos pelas formulações empíricas do EurOtop, para um dos cenários de alterações climáticas testado.

Palavras-chave: Espraio, Galgamento, Alterações climáticas, Modelação física, Fórmulas empíricas

Tema: Mar, zonas costeiras e obras marítimas.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

1. INTRODUÇÃO

Na conceção e avaliação da segurança de estruturas costeiras e portuárias o espraimento e o galgamento são dois dos principais fenómenos físicos a ter em conta no projeto de novas estruturas e na verificação da segurança de estruturas já existentes.

Com efeito, é fundamental uma correta previsão do espraimento e do galgamento por ação das ondas, na medida em que os danos provocados por estes fenómenos devem situar-se abaixo de limites pré-definidos, quer em condições normais de operação, quer em condições extremas, de forma a garantir não só a estabilidade da estrutura, mas também a segurança de pessoas e bens que essa estrutura protege. A sua determinação tem ainda como objetivos a definição da cota de coroamento da estrutura e servir de indicador de possíveis galgamentos e de transmissão de energia através da mesma.

Este problema ainda se torna mais importante em cenários de alterações climáticas. Nestes cenários é previsível a subida do nível médio do mar, bem como o aumento da intensidade e da frequência de tempestades, o que pode dar origem a fenómenos de espraimento e/ou galgamento cada vez mais frequentes, tornando mais vulneráveis as estruturas costeiras e portuárias e as zonas por elas protegidas. Desta forma, são cada vez mais importantes estimativas fiáveis destes fenómenos, que se baseiam essencialmente em resultados de ensaios em modelo físico reduzido.

No âmbito do projeto HYDRALAB+ (H2020-INFRAIA-2014-2015), foi realizado num canal de ondas irregulares do LNEC um conjunto de ensaios em modelo físico de um perfil de um quebra-mar de talude, no qual foi feita a análise da propagação de ondas, do espraimento, do galgamento e da estabilidade do perfil, para situações extremas correspondentes a cenários de alterações climáticas (Hofland *et al.*, 2017; Mendonça *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2017).

Os ensaios foram desenvolvidos no âmbito da Tarefa 8.2 do módulo RECIPE do projeto HYDRALAB+, com o objetivo de avaliar a estabilidade e o galgamento no perfil de um quebra-mar, com um talude permeável, constituído por enrocamento. Foi definido um total de 15 ensaios, considerando valores de altura de onda significativa, período de pico e níveis de água que permitissem a simulação de eventos extremos. A campanha de ensaios foi definida de forma a simular 4 abordagens distintas na representação de tempestades, nomeadamente, efeito cumulativo de tempestades (através do aumento da altura significativa de onda): A) com o aumento do nível de água; B) com um nível de água constante; C) com um período de onda constante; D) com um nível de água constante e a reconstrução do modelo.

O presente trabalho incide na apresentação e análise dos ensaios realizados tendo em conta a abordagem A. Incidiu na determinação dos valores de caudal médio galgado, q , e dos valores do espraimento, $R_{2\%}$, i.e. valor excedido por apenas 2% das ondas incidentes no pé da estrutura e, por fim, na comparação dos valores de q e $R_{2\%}$ obtidos nos ensaios em modelo físico com os previstos pelas formulações empíricas do EurOtop (2016).

Assim, descrevem-se, na secção 2, os ensaios em modelo físico realizados e, na secção 3,

as fórmulas empíricas utilizadas. Na secção 4, apresentam-se e discutem-se os resultados advindos da comparação entre os valores obtidos no modelo físico com a abordagem A e os calculados pelas fórmulas empíricas. As principais conclusões do presente trabalho terminam, na secção 5, esta comunicação.

2. MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no LNEC, no Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas (NPE) do Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA), num canal de ondas irregulares (COI 1) com cerca de 50 m de comprimento, e largura e profundidade operativas de 80 cm.

O canal está equipado com um gerador de ondas do tipo pistão com capacidade para geração de ondas e simultânea absorção dinâmica das ondas refletidas, através do uso de duas sondas (AWA0 e AWA1) localizadas junto ao batedor (Figura 1). Quer a geração, quer a aquisição nestas duas sondas foram efetuadas com uma frequência de 40 Hz.

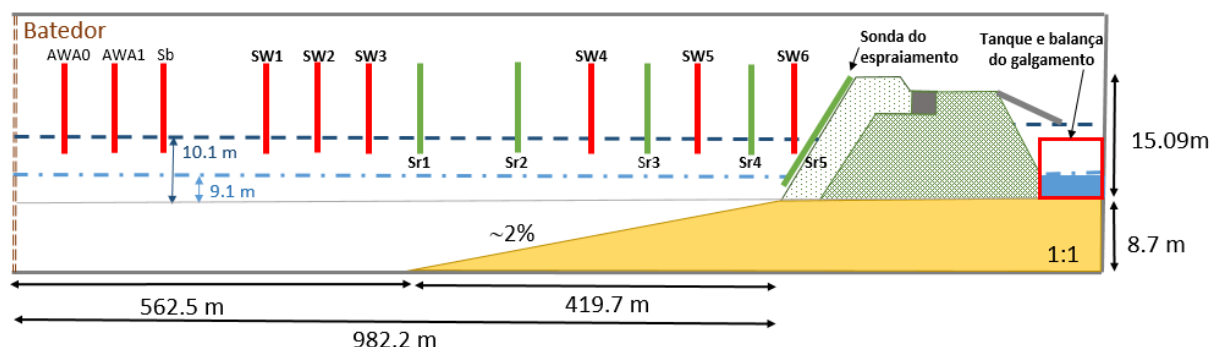


Figura 1. Esboço da configuração experimental em canal (valores à escala do protótipo, para dois dos níveis de água testados).

O modelo do quebra-mar (Figura 1) foi construído e operado de acordo com a lei de semelhança de Froude, à escala geométrica 1:30, de modo a assegurar efeitos de escala reduzidos (as alturas de onda deverão corresponder a números de Reynolds $Re > 3 \times 10^4$).

Foram realizados ensaios para análise do dano e do galgamento, num talude de enrocamento, para quatro abordagens de condições de ensaio, correspondente a igual número de cenários de alterações climáticas, com desenvolvimento cumulativo padrão de uma tempestade (com aumento das alturas de onda): A) com o aumento do nível de água; B) com um nível de água constante; C) com um período de onda constante; e D) com um nível de água constante e a reconstrução do manto de enrocamento.

Efetuaram-se ensaios de ondas irregulares para um espectro empírico de JONSWAP, com um fator de pico espectral, γ , de 3.3. As durações dos ensaios foram de 1980 s, 2160 s e 2400 s, para os períodos de pico de 10 s, 11 s e 12 s, respetivamente (a que correspondem aproximadamente 1000 ondas). Todos os ensaios foram repetidos pelo menos três vezes.

Na Tabela 1 apresentam-se as condições nominais dos ensaios no pé da estrutura, onde H_s

representa a altura de onda significativa e T_p é o período de pico da onda. Os testes 1-7 representam a abordagem A; os testes 1-3 e 4-7 representam a abordagem B; os testes 1-3, 4-7 e 8-15 a abordagem C; e os testes 4-7, com reconstrução, representam a abordagem D.

Tabela 1. Condições nominais dos ensaios no pé da estrutura.

Teste	Protótipo			Modelo		
	Profundidade (m)	T_p (s)	H_s (m)	Profundidade (m)	T_p (s)	H_s (m)
1	9.1	10	3.2	0.30	1.826	0.107
2	9.1	10	3.7	0.30	1.826	0.123
3	9.1	10	4.2	0.30	1.826	0.140
4	10.1	11	3.7	0.34	2.008	0.123
5	10.1	11	4.2	0.34	2.008	0.140
6	10.1	11	4.7	0.34	2.008	0.157
7	10.1	11	5.2	0.34	2.008	0.173
Reconstrução						
8	11.1	12	3.7	0.37	2.191	0.123
9	8.1	12	3.7	0.27	2.191	0.123
10	11.1	12	4.2	0.37	2.191	0.140
11	8.1	12	4.2	0.27	2.191	0.140
12	11.1	12	4.7	0.37	2.191	0.157
13	8.1	12	4.7	0.27	2.191	0.157
14	11.1	12	5.2	0.37	2.191	0.173
15	8.1	12	5.2	0.27	2.191	0.173

Para cada teste efetuaram-se medições da elevação da superfície livre, do espraio e do volume de galgamento.

Para a medição da elevação da superfície livre, foram distribuídas dez sondas resistivas ao longo do canal (SW1-SW6 e Sr1-Sr4; Figura 1). Para a medição do espraio, foi utilizada uma sonda colocada no talude do quebra-mar (Sr5; Figura 2a). Para estas 11 sondas, a frequência de aquisição foi de 25 Hz.

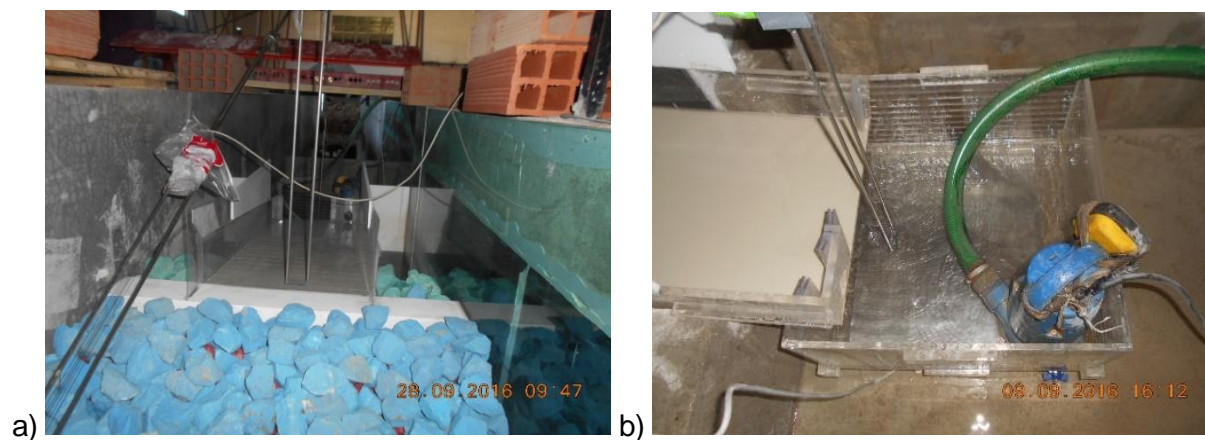


Figura 2. Configuração para as medições: a) do espraio; b) do galgamento.

Para a medição do volume de galgamento, utilizou-se uma balança (modelo KERN KXS-TM) para registar o peso da água que galgava a estrutura. O equipamento utilizado para recolher a água galgada consistiu num reservatório, localizado na parte de trás da estrutura. A água foi direcionada para o reservatório através de uma rampa, com 40 cm de largura. O reservatório foi colocado sobre a balança, o que possibilitou a medição da variação do volume de galgamento no tempo (Figura 2b). Os dados foram obtidos e guardados, em formato digital, a uma frequência de 1 Hz.

3. FÓRMULAS EMPÍRICAS

No presente estudo, os dados experimentais de espraimento, $R_{2\%}$, e de galgamento, q , são comparados com os valores calculados através das fórmulas empíricas do EurOtop (2016), descritas resumidamente nos próximos parágrafos.

O EurOtop (2016) propõe que as estimativas do espraimento $R_{2\%}$ para taludes de enrocamento ou taludes rugosos sejam descritas por:

$$R_{2\%} / H_{m0} = 1.65 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_{m-1,0} \quad (1)$$

com um máximo de:

$$R_{2\%} / H_{m0} = 1.00 \cdot \gamma_{f \text{ surging}} \cdot \gamma_\beta \cdot \left(4.0 - \frac{1.5}{\sqrt{\gamma_b \cdot \xi_{m-1,0}}} \right) \quad (2)$$

em que H_{m0} é a altura de onda significativa espectral no pé da estrutura; γ_b é um fator relativo à berma na estrutura; γ_f é um fator relacionado com a dissipação de energia devida à rugosidade/permeabilidade do talude da estrutura; γ_β é um fator referido à obliquidade da onda; $\xi_{m-1,0}$ é o parâmetro de rebentação que é calculado por $\xi_{m-1,0} = \tan \alpha / (s_{m-1,0})^{0.5}$, em que α é o ângulo que o talude faz com a horizontal, $s_{m-1,0} = H_{m0} / L_{m-1,0}$, $L_{m-1,0} = g T_{m-1,0}^2 / 2\pi$ e $T_{m-1,0}$ o período médio espectral, calculado com os momentos de ordem -1, m_{-1} , e zero, m_0 , do espectro. A partir de $\xi_{m-1,0} = 1.8$, o fator de rugosidade/permeabilidade, $\gamma_{f \text{ surging}}$, aumenta linearmente até 1 para $\xi_{m-1,0} = 10$, que pode ser descrito por:

$$\begin{aligned} \gamma_{f \text{ surging}} &= \gamma_f + (\xi_{m-1,0} - 1.8) \cdot (1 - \gamma_f) / 8.2 \\ \gamma_{f \text{ surging}} &= 1 \quad \text{para} \quad \xi_{m-1,0} > 10 \end{aligned} \quad (3)$$

Para um núcleo permeável, $R_{2\%} / H_{m0}$ atinge um máximo de 2.0 e para um núcleo impermeável de 3.0. Em quebra-mares de taludes de enrocamento, com duas camadas e núcleo permeável, o EurOtop (2016) apresenta para o fator de rugosidade/permeabilidade, γ_f , um valor de 0.40.

As estimativas do galgamento para taludes de enrocamento ou taludes rugosos de 1:2 a 1:4/3 são descritas no EurOtop (2016) por:



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.09 \cdot \exp \left[- \left(1.5 \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_f} \right)^{1.3} \right] \quad (4)$$

onde

g : aceleração da gravidade (9.81 m/s^2);

R_c : altura do bordo livre da estrutura relativamente ao nível de água.

O EurOtop (2016) define valores de γ_f para taludes de enrocamento ou taludes rugosos com declive de 1:1.5, para um parâmetro de rebentação, $\xi_{m-1,0}$, entre 2.8 e 4.5. Tal como referido anteriormente, para um talude de enrocamento com duas camadas e núcleo permeável, é recomendado um valor de $\gamma_f = 0.4$. No entanto, para $\xi_{m-1,0} > 5$, i.e., para um elevado período de onda, sugere-se que γ_f aumente do seguinte modo:

$$\gamma_{f \text{ mod}} = \gamma_f + (\xi_{m-1,0} - 5) \cdot (1 - \gamma_f) / 5.0 \quad (5)$$

com um valor máximo de $\gamma_{f \text{ mod}} = 0.6$ para estruturas de enrocamento com núcleo permeável.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Características da onda e análise do espraçamento

Através da análise dos valores da série temporal da sonda Sr5 (Figura 1) obtiveram-se os valores experimentais de $R_{2\%}$. Apesar de o espraçamento ser definido pelo deslocamento vertical máximo das ondas no talude (“infinito”) de uma estrutura acima do nível de repouso, a medição do espraçamento nestes testes foi limitada pela cota de coroamento do quebra-mar. Assim, apenas os espraçamentos que não excedem a cota de coroamento têm maior precisão. Se o espraçamento exceder o coroamento da estrutura, ocorre galgamento e as medições realizadas do espraçamento subestimam os valores $R_{2\%}$.

Assim, neste trabalho, a análise do espraçamento é feita de modo aproximado, sobretudo nas situações em que ocorre galgamento, uma vez que, nestes casos, para se poder comparar o espraçamento obtido com os resultados do EurOtop (2016), deveria ter sido utilizado um talude de enrocamento mais longo, de modo a poder simular o talude “infinito” descrito nesta publicação para o cálculo do espraçamento. É, mesmo assim, de grande utilidade a obtenção destes resultados, quer para a confirmação da ocorrência de galgamento nos ensaios, quer para a calibração de modelos numéricos que necessitem de séries temporais de espraçamento.

Os resultados de espraçamento máximo obtidos a partir do modelo físico são ilustrados para dois valores de profundidade, 9.1 m (testes 1 a 3) e 10.1 m (testes 4 a 7), para os períodos de pico de 10 s (testes 1 a 3) e 11 s (testes 4 a 7) e para alturas de onda significativas crescentes entre 3.2 m e 4.2 m (testes 1 a 3) e 3.7 m e 5.2 m (testes 4 a 7) (todos os valores à escala do protótipo). A sonda Sr5 possibilita uma medição máxima de espraçamento de cerca de 20 m (valor de protótipo).

A Figura 3 apresenta os valores de espraçamento máximo medidos no talude da estrutura em

função da altura de onda significativa, H_s , para os testes 1 a 3, com um período de pico, T_p de 10 s, H_s crescente de 3.2 m a 4.2 m e uma profundidade de 9.1 m (valores de protótipo). A linha castanha, a traço interrompido, representa a altura do bordo livre da estrutura relativamente ao nível de água em repouso (R_c), acima do qual ocorre galgamento ($R_c = 6.05$ m para os testes 1 a 3).

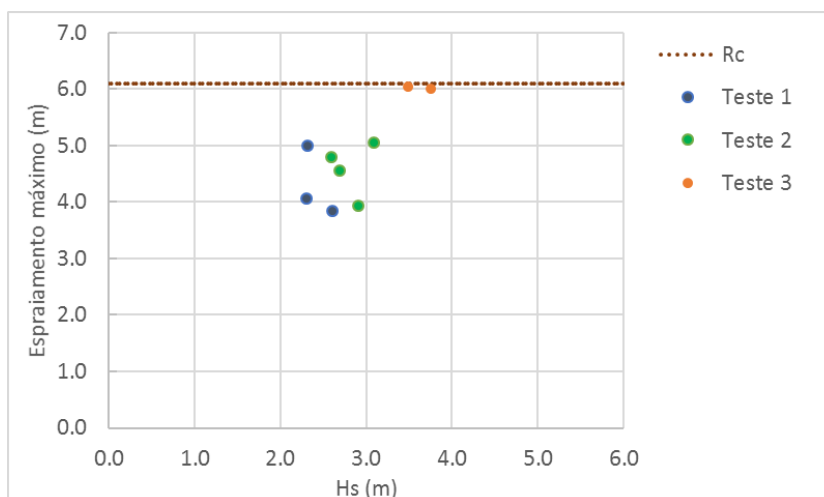


Figura 3. Valores de espraiamento máximo medidos (à escala do protótipo): Testes 1 a 3.

No teste 1 não ocorreu galgamento durante os ensaios. Este facto foi confirmado visualmente, pela medição da balança e pela sonda Sr5, que mediu espraiamentos máximos entre 3.83 m e 4.99 m. No teste 2 verificou-se a ocorrência de galgamento, quer através de métodos visuais, quer através da medição pela balança de um volume de água correspondente a um caudal médio galgado de $9.20 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ (Figura 4). No entanto, a sonda de espraiamento não registou valores de espraiamento superiores à cota de coroamento, provavelmente por não existir uma lâmina de água contínua a passar na sonda ou pelo facto de a água ter muita emulsão de ar, prejudicando a medição destes valores.



Figura 4. Teste 2: caso em que não foi identificado galgamento pela sonda de medição do espraiamento.

No teste 3 ocorreu galgamento (confirmado através da medição da balança e por métodos visuais), com um caudal médio de $2.05 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, que é identificado pela sonda de medição do espraimento (Figura 3) e observado na Figura 5.

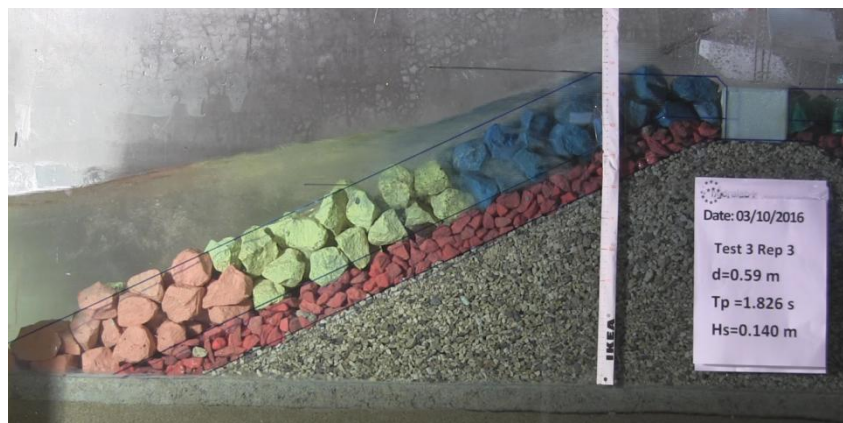


Figura 5. Espraimento e galgamento no teste 3.

A Figura 6 apresenta os valores de espraimento máximo medidos no talude da estrutura em função da altura de onda significativa para os testes 4 a 7, com um período de pico de 11 s, altura de onda significativa crescente de 3.7 m a 5.2 m e uma profundidade de 10.1 m (valores de protótipo). Tal como para a Figura 3, a linha castanha, a traço interrompido, representa a altura do bordo livre da estrutura relativamente ao nível de água (R_c), acima do qual ocorre galgamento ($R_c=4.89 \text{ m}$ para os testes 4 a 7).

Nos Testes 4 a 7 ocorre galgamento em todos os ensaios com caudais médios de $2.70 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, $1.45 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, $2.75 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ e $4.38 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, respetivamente. As medições na sonda de espraimento confirmam a ocorrência de galgamento em todos os testes (Figura 6).

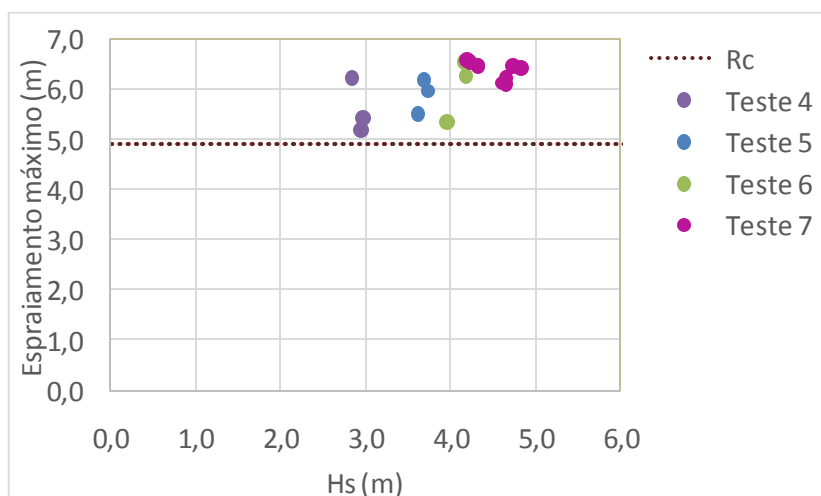


Figura 6. Valores de espraimento máximo medidos (à escala do protótipo): Testes 4 a 7.

Os resultados de espraioamento obtidos a partir do modelo físico e das fórmulas empíricas analisadas são ilustrados, conjuntamente, na Figura 7, que apresenta os valores de $R_{2\%} / H_{m0}$ em função de $\xi_{m-1,0}$, para os testes 1 a 7, correspondentes à abordagem A, como referido anteriormente. Os valores estimados pelas fórmulas do EurOtop (2016) são superiores aos valores medidos nos ensaios, para todos os casos analisados. Tal deve-se ao facto do coroamento da estrutura ser inferior ao nível máximo que seria atingido pelo espraioamento se o talude da estrutura fosse “infinito”. A formulação empírica admite a existência deste talude “infinito”, pelo que os valores de espraioamento relativo, para as mesmas condições de onda, são frequentemente superiores.

Observa-se que o espraioamento relativo aumenta com o parâmetro de rebentação da onda (até um limite de 2) e com a profundidade (Figura 7 a e b).

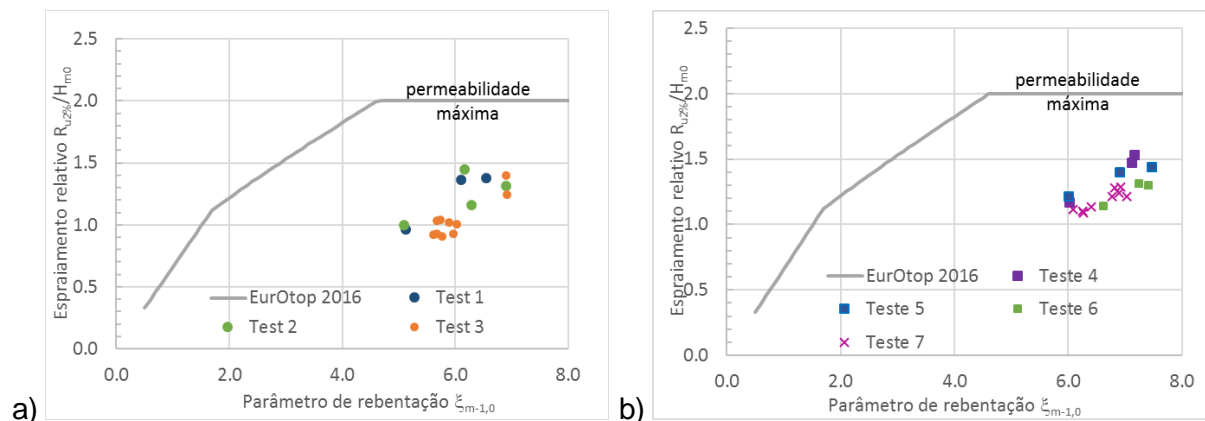


Figura 7. Comparação entre os valores de espraioamento medidos e estimados pelas fórmulas empíricas. Relação com o parâmetro de rebentação: a) Testes 1 a 3, b) Testes 4 a 7.

4.2 Caudal médio galgado

Nos ensaios em modelo físico descritos na secção 2, obtiveram-se valores de caudal médio galgado para cerca de 80 testes. Para diferentes condições de agitação, analisou-se e comparou-se o galgamento total e individual com os valores correspondentes obtidos com fórmulas empíricas (EurOtop, 2016). Nesta comunicação, apresentam-se apenas os resultados referentes aos testes 1 a 7 (43 testes).

A Figura 8 apresenta a relação entre os valores de caudal médio galgado relativo, $q / (gH_{m0}^3)^{0.5}$, estimados e medidos, e os valores do bordo livre relativo, R_c / H_{m0} , para os testes 2 a 7 (para o teste 1 não há registo de galgamento). Os valores estimados, representados pela linha contínua, foram obtidos através da equação 4 (utilizando o valor médio do fator de rugosidade/permeabilidade dos testes, $\gamma_{f \text{ mod}} = 0.544$). Apresentam-se também as linhas correspondentes a um intervalo de confiança de 90% da equação 4 (linhas pontilhadas), sugerido no EurOtop (2016).

A figura mostra que os valores obtidos através da fórmula empírica estão de acordo com os valores medidos nos ensaios, encontrando-se todos no intervalo de confiança de 90%. Para

valores de $q / (gH_{m0}^3)^{0.5} < 10^{-5}$ os valores estimados são menos precisos e correspondem a valores de caudal médio galgado inferiores a 0.5 l/s/m (teste 2), onde a ocorrência de efeitos de escala é espectável.

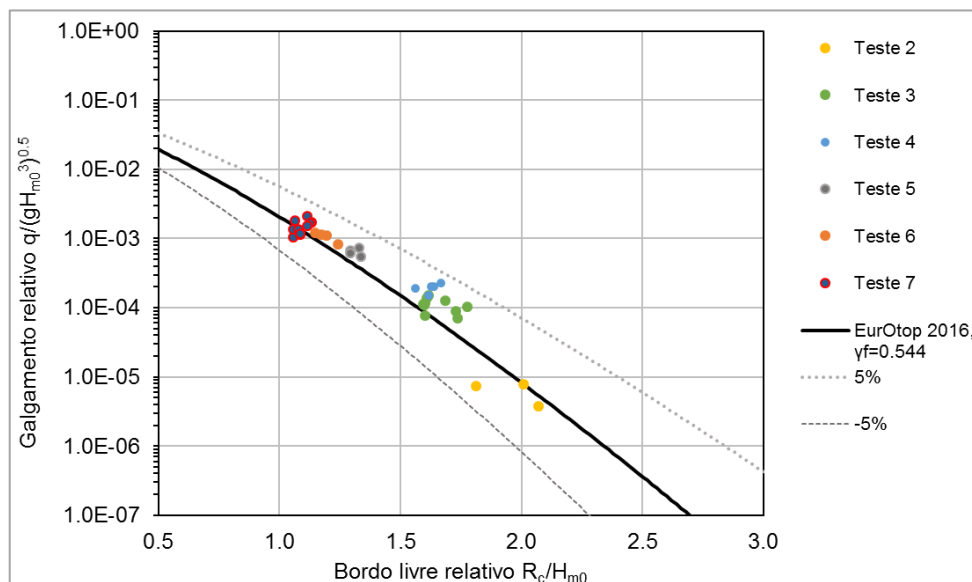


Figura 8. Valores de caudal médio galgado relativo, $q / (gH_{m0}^3)^{0.5}$, estimado (equação 4 obtida com $\gamma_{f\text{ med}} = 0.544$ e intervalo de confiança de 90%; EurOtop, 2016) e medido. Relação com o bordo livre relativo, R_c / H_{m0} : testes 2 a 7.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta um conjunto de ensaios em modelo físico realizados em canal para a medição do espraimento e do galgamento na secção transversal de um quebra-mar de talude de enrocamento, sujeito a condições de agitação incidente extremas. Foram realizados ensaios para análise da estabilidade, espraimento e galgamento do quebra-mar, para representação de quatro cenários de eventos extremos (associados a previsíveis alterações climáticas), nomeadamente, com desenvolvimento cumulativo padrão de uma tempestade (com aumento das alturas de onda) e: A) com aumento do nível de água; B) com um nível de água constante; C) com um período de onda constante; e D) com um nível de água constante e reconstrução do manto de enrocamento.

O presente estudo focou-se na análise do espraimento máximo e na comparação dos valores medidos do espraimento ($R_{2\%}$) com os estimados pelas fórmulas empíricas do EurOtop (2016) para os ensaios realizados considerando o cenário A. Claramente, a formulação utilizada sobrestima os valores medidos em todos os ensaios analisados, o que era expetável dado que na maioria dos ensaios se verificou a ocorrência de galgamento da estrutura.

As divergências entre medições e estimativas devem-se ao tipo de medição que está a ser efetuada pela sonda do espraimento, que, em casos onde ocorre galgamento, pode não



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

ser fidedigna. A formulação empírica admite a existência de um talude “infinito” na estrutura, pelo que os valores de espraçamento medidos nos ensaios, para as mesmas condições de onda, serão inferiores aos estimados no caso de haver galgamento.

Na análise do caudal médio galgado e na comparação dos valores medidos com os estimados pelas fórmulas empíricas do EurOtop (2016), a formulação utilizada reproduz corretamente os valores medidos nos ensaios. Os valores de caudal médio galgado, q , obtidos no modelo físico encontram-se no intervalo de confiança de 90% da fórmula empírica do EurOtop (2016). Como esperado, para valores de $q / (gH_{m0}^3)^{0.5} < 10^{-5}$ as estimativas são menos precisas.

A análise dos ensaios no presente estudo é, ainda, bastante útil para validação de modelos numéricos, quer no que respeita ao espraçamento, quer ao galgamento, possibilitando a caracterização da dissipação e reflexão da onda na estrutura ensaiada. Os modelos numéricos, após validados, poderão ser utilizados em variadas condições de espraçamento e de galgamento, complementando as condições simuladas em modelo físico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do projeto Europeu H2020-INFRA-2014-2015, N.654110 - HYDRALAB+ *Adaptation for Climate Change*. Os autores agradecem também a André Ramos e Joana Simão a ajuda prestada na realização dos ensaios aqui descritos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EurOtop (2016). Manual on Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures. An Overtopping Manual Largely Based on European Research, but for Worldwide Application. Van der Meer, J.W., Allsop, N.W.H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch, P. and Zanuttigh, B., www.overtopping-manual.com
- Hofland, B., Santos, P., Taveira-Pinto, F., Almeida, E., Mendonça, A., Lemos, R., Fortes, J. (2017). “Measuring damage in physical model tests of rubble mounds”. Proc. Coasts, Marine Structures and Breakwaters 2017, 5 - 7 September 2017, Liverpool Waterfront, UK.
- Mendonça, A., Lemos, R., Fortes, J., Reis, M.T., Neves, M.G., Ramos, A., Capitão, R. (2017). “Overtopping events in breakwaters: comparison of 2D physical experiments and empirical formulae”. Proc. 37th IAHR World Congress, 13-18 August 2017, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Silva, E., Allsop, W., Riva, R., Santos, P., Mendonça, A., Reis, M.T. (2017). “The conundrum of specifying very low wave overtopping discharges”. Proc. Coasts, Marine Structures and Breakwaters 2017, 5 - 7 September 2017, Liverpool Waterfront, UK.