



ESTUDO EM MODELO FÍSICO DA PROPOSTA PARA A REDUÇÃO DOS GALGAMENTOS E A MELHORIA DA PRAIA DAS PASTORAS, PORTO

Francisco TAVEIRA-PINTO¹, Paulo ROSA-SANTOS¹, Hugo GUEDES-LOPES², Daniel CLEMENTE¹, Carlos Maria ABECASIS³

1. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos (IHRH) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, S/N, 4200-465 Porto, Portugal, fpinto@fe.up.pt, pjrsantos@fe.up.pt.

2. Direcção de Obras e Equipamentos, Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo S.A., Avenida da Liberdade, 4451-851 Leça da Palmeira, Portugal, hugo.lopez@apdl.pt.

3. CONSULMAR, Projetistas e Consultores, Lda., Avenida António Augusto de Aguiar 19, 1050-110 Lisboa, Portugal, c.abecasis@consulmar.pt.

RESUMO

A Praia das Pastoras, na cidade do Porto, é, por vezes, sujeita a fenómenos de galgamento dos muros que a limitam anterior e lateralmente, tanto pelas ondas como pela areia que estas arrastam. Estes galgamentos ocorrem durante situações extremas de agitação marítima, quando se poderá verificar também algum fenómeno de sobrelevação do nível médio da água no canal constituído pelos dois molhes, sendo mais relevantes em situações de preia-mar de águas vivas. O presente estudo em modelo físico teve por objetivo analisar a eficácia de uma solução preliminar projetada tendo em vista a melhoria das condições existentes no que concerne à diminuição dos galgamentos do muro de separação entre a praia e a marginal, bem como a estabilidade da própria estrutura. Foi possível concluir que a estrutura de taludes proposta era estável, mesmo para as condições hidrodinâmicas extremas previstas para o local, no entanto a sua eficácia na atenuação dos níveis de agitação marítima a sotamar e dos galgamentos ficou aquém das expectativas, sobretudo para os níveis de água mais elevados e para as condições de agitação marítima mais extremas. Com base nos resultados obtidos, sugere-se a adoção de uma solução mais dissipativa da energia das ondas, nomeadamente através de uma colocação irregular dos blocos no manto resistente do quebramar, assim como a colocação do quebramar de proteção numa posição mais exterior, de forma a dissipar a energia das ondas ainda antes de estas entrarem no canal delimitado pelos dois molhes.

Palavras-Chave: riscos costeiros; galgamento; quebramar de taludes; estabilidade; agitação marítima.

1. INTRODUÇÃO

A Praia das Pastoras, situada entre o Molhe Norte da foz do Rio Douro e o Molhe de Felgueiras, na cidade do Porto, Figura 1, é sujeita a fenómenos de galgamento dos muros que a limitam anterior e lateralmente, tanto pelas ondas como pela areia que estas arrastam. Estes galgamentos ocorrem, sobretudo, durante situações extremas de agitação marítima, quando se poderá verificar também algum fenómeno de sobrelevação do nível médio da água no canal constituído pelos dois molhes, sendo mais relevantes em situações de preia-mar de águas vivas.

Por solitação da APDL, S.A., a CONSULMAR propôs uma primeira solução para a reabilitação e a melhoria das condições atuais da Praia das Pastoras (Consulmar, 2017), que consiste na construção de um quebramar submerso, entre os dois molhes existentes, cujo objetivo é provocar a rebentação das ondas de maior altura que atualmente incidem sobre a praia, de modo a que o galgamento do muro limite desta, pelas ondas e pelas areias, seja eliminado ou fortemente reduzido. O quebramar de taludes proposto apresenta um núcleo em enrocamento de 100 a 500 kg, coroamento à cota +1.00 m ZH e taludes a 3/2 de ambos os lados. Este núcleo é revestido por uma camada de blocos paralelepípedicos de betão, com uma altura de 1.00 m e dimensões em planta de 2.00 × 2.00 m², colocados de uma forma regular. O coroamento final da estrutura encontra-se, assim, à cota +2.00 m ZH, equivalente ao nível médio da maré, e a sua largura é de 20.0 m. O estudo em modelo físico teve como objetivo analisar a eficácia de uma solução preliminar projetada tendo em vista a melhoria das condições atuais da Praia das Pastoras no que concerne à diminuição dos galgamentos do muro de separação entre a praia e a marginal, bem como a estabilidade da própria estrutura.

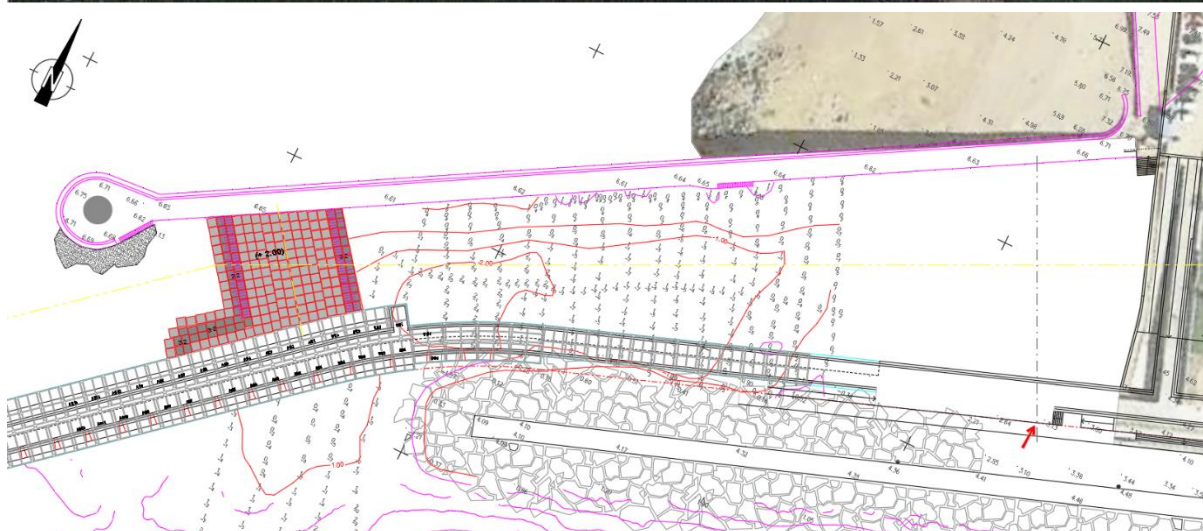


Fig. 1. Identificação dos molhes na Foz do Douro e do local da intervenção proposta para a melhoria das condições da Praia das Pastorais (superior); vista em planta da intervenção (inferior), (Consulmar, 2017).

2. ESTUDO EXPERIMENTAL

O estudo da solução proposta para a Praia das Pastorais foi realizado à escala geométrica 1/25 no tanque de ondas do Laboratório de Hidráulica da Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

Os fundos a sotamar e a barlamar da nova estrutura foram reproduzidos com base nas especificações da Consulmar (2017), numa extensão suficientemente grande para permitir simular as condições de incidência da agitação sobre o quebramar. Como a agitação marítima incidente é limitada pelos fundos frontais à obra, estes foram reproduzidos até à cota -8.00 m ZH. A configuração dos fundos entre os dois quebramares (Felgueiras e Norte) foi parcialmente

executada com um preenchimento em brita, para melhor reprodução das condições atuais. O perfil de praia, na sua parte superior (a partir do ZH), foi construído com areia, enquanto a configuração dos fundos fixos a barlar da cabeça do molhe de Felgueiras foi executada em brita recoberta com argamassa. No modelo físico foi utilizada areia calibrada de sílica com uma baridade de 1037 kg/m^3 e um diâmetro médio de 0.273 mm .

Para a construção do quebramar foram fabricados 239 blocos prismáticos, com dimensões à escala de $8.0 \times 8.0 \times 4.0 \text{ cm}^3$. Esses blocos foram depois colocados numa única camada, com juntas mínimas. Para facilitar a identificação dos movimentos, esses dos blocos foram pintados com três cores diferentes. Os testes foram realizados com estados de agitação marítima irregular e para quatro níveis de água: baixa-mar (+0.50 m ZH); nível médio (+2.00 m ZH), preia-mar (+3.50 m ZH) e nível extremo (4.50 m ZH). A Figura 2 apresenta o esquema de implantação do modelo físico no tanque de ondas.

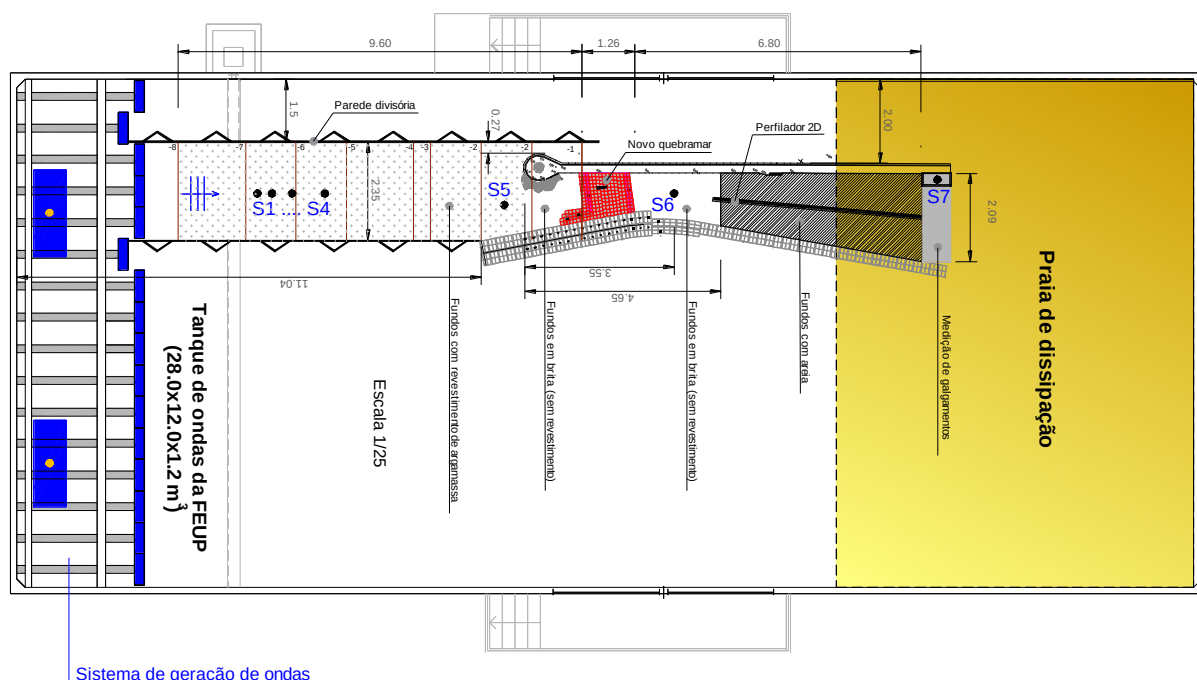


Fig. 2. Implantação do modelo físico no tanque de ondas da FEUP.

O programa de ensaios considerou duas fases: sem e com a implantação do novo quebramar. A primeira fase teve como objetivo servir de referência à análise da eficácia da obra e apenas incluiu testes para o nível médio, preia-mar e nível extremo, pois durante a baixa-mar o perfil da praia encontra-se praticamente todo emerso. Os ensaios com a implantação do novo quebramar, realizados em duas séries, tiveram como objetivo adicional a verificação da estabilidade da estrutura, para além da análise da sua eficácia.

A duração dos ensaios foi de 3 h (protótipo) nos ensaios que envolvem a verificação da estabilidade do quebramar e de 1 h naqueles que apenas envolvem a análise da sua eficácia na indução da rebentação das ondas. De referir ainda que, a altura de onda significativa foi progressivamente aumentada de teste para teste, a partir de 1.50 m, em intervalos de 0.50 m. Para cada nível de água, os últimos ensaios foram realizados com as alturas de onda máximas que se conseguiram obter, para cada período de onda de pico, na zona frontal ao local onde foi depois instalado o quebramar. Estas alturas de onda estão limitadas pela ocorrência de rebentação que depende da profundidade de água local. Foram testados os seguintes períodos de onda de pico (valores no protótipo): 12, 14, 16 e 20 s.

A agitação marítima foi continuamente registada com sondas de níveis hidrodinâmicos localizadas nos seguintes pontos, na ausência e na presença do novo quebramar: à saída do sistema de geração, com 4 sondas, para avaliação dos fenómenos de reflexão; na zona frontal à estrutura; e sobre a plataforma horizontal do perfil de praia à cota - 2,00 m ZH.

Nos ensaios iniciais, i.e., sem a implantação do novo quebramar, foi registada a evolução do perfil batimétrico da praia com um perfilador 2D automático (modelo *HR Wallingford, UK*, Figura 2), antes e depois de cada um dos ensaios, e o galgamento do perfil da praia (água e areia). Nos ensaios com o novo quebramar, os registos foram

mais completos, pois incluíram a observação do comportamento dessa estrutura. Foram ainda realizadas gravações em vídeo dos testes.

O nível da água foi registado na zona posterior à nova estrutura, ou seja, entre esta e o perfil da praia, para detetar eventuais sobrelevações como resultado da rebentação das ondas (*wave set-up*) e as diferenças nestas entre as situações com e sem intervenção (*pilling up*). A análise posterior dos registos permite distinguir a sobrelevação da oscilação da superfície correspondente à passagem das ondas (*i.e.*, filtrar esta última componente). Estes registos foram efetuados tanto nos ensaios com o novo quebramar como sem o mesmo. A Figura 3 (a) apresenta o modelo físico da Praia das Pastoras construído no tanque de ondas.



Fig. 3. Modelo físico da Praia das Pastoras (a). Manto resistente do novo quebramar com a disposição dos blocos no final da série de ensaios: (b) 1B (nível +0.50 m ZH) e (c) série de ensaios 2D (nível +4.50 m ZH).

3. CONCLUSÕES

Com a realização do estudo experimental foi possível concluir que o quebramar projectado para a melhoria das condições da Praia das Pastoras era estável para as condições hidrodinâmicas extremas verificadas no local (Figura 3b,c). Porém, a eficácia dessa estrutura na atenuação dos níveis de agitação marítima a sotamar e dos galgalmentos ficou àquém das expectativas, especialmente para os níveis de água mais elevados e as condições de agitação mais extremas. Foi ainda observada uma sobrelevação do nível médio da água à sotamar do novo quebramar nos testes realizados com essa estrutura. Com base nos resultados experimentais obtidos, sugere-se a adopção de uma solução mais dissipativa da energia das ondas, com a colocação do quebramar de proteção numa posição mais exterior, de forma a dissipar a energia das ondas ainda antes de estas entrarem no canal delimitado pelos dois molhes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Consulmar, 2017. “Projeto de reabilitação e melhoria das condições da Praia das Pastoras: especificações para os ensaios em modelo reduzido”, março de 2017, incluindo os desenhos O.1670.00_EM_HM_01_0 (Quebramar e praia. Planta e perfis) e O.1670.00_EM_HM_02_0 (Esquematização dos fundos para o largo do quebra-mar).