



AValiação EXPERIMENTAL DE EROSões LOCALIZADAS EM QUEBRAMARES DESTACADOS NA PRAIA DO CARNEIRO, PORTO

Francisco V.C. TAVEIRA-PINTO¹, Paulo ROSA-SANTOS¹, José Victor RAMOS¹, Francisco TAVEIRA PINTO¹, Hugo GUEDES-LOPES²

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, ftaveirapinto@fe.up.pt, pjrsantos@fe.up.pt, jvrc@fe.up.pt, fpinto@fe.up.pt.

2. Direção 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.lopes@apdl.pt.

RESUMO

A Praia do Carneiro, situada na frente marítima do Porto, a norte do molhe de Felgueiras, encontra-se relativamente exposta à agitação marítima, que provoca, em situações de tempestade, o galgamento do muro marginal da Avenida D. Carlos e ainda a remoção de areias. Face a estes problemas e com o objetivo de mitigar os riscos existentes, a Consulmar Lda projetou uma nova intervenção de proteção costeira constituída por cinco quebramares destacados, que consiste numa reformulação de uma primeira proposta para o local, cujo funcionamento hidráulico-estrutural se revelou insatisfatório. O presente estudo incluiu a construção de um modelo físico da Praia do Carneiro e áreas adjacentes com o objetivo de analisar de uma forma qualitativa as erosões localizadas que se desenvolvem junto às estruturas e, quantitativamente, a eficácia do campo de cinco quebramares destacados na redução dos níveis de agitação a sotamar do mesmo. O trabalho permitiu observar a formação e desenvolvimento de erosões localizadas junto aos quebramares nos locais onde não havia afloramentos rochosos na fundação, sem que estas provocassem a instabilidade dos mesmos. Além disso, os quebramares de taludes, construídos com enrocamento ou por blocos cúbicos Antifer, não foram capazes de resistir às condições de agitação marítima mais energéticas, para os níveis de água mais elevados. No entanto, os resultados obtidos permitiram concluir que os cinco quebramares destacados reduzem satisfatoriamente os níveis de agitação a sotamar.

Palavras-Chave: morfodinâmica; modelação física; erosão costeira; galgamento.

1. INTRODUÇÃO

O caso de estudo compreende a Praia do Carneiro e parte da Praia do Ourigo, abrangendo assim aproximadamente 400 m do areal que se estende, para norte, desde o Molhe de Felgueiras até ao segundo conjunto de afloramentos rochosos que emergem na areia. Estas praias da frente marítima do Porto apresentam potencial balnear devido à menor quantidade de afloramentos rochosos existente. Contudo, face à menor proteção natural, a Praia do Carneiro encontra-se mais exposta à agitação marítima que, em situações de temporal, provoca a remoção das areias, com a sua deposição ao largo e em terra, por galgamento do muro da Avenida D. Carlos, junto ao enraizamento do Molhe de Felgueiras.

Face às intenções da APDL, a Consulmar projetou uma intervenção de proteção costeira composta por um conjunto de cinco quebramares destacados que aproveitam a presença de afloramentos rochosos no local para a sua fundação (Figura 1). O novo quebramar 1 apresenta duas camadas de blocos cúbicos Antifer de 60 kN, fabricados com betão de densidade normal (24 kN/m^3) e colocados nos taludes frontal e posterior de forma irregular, apresentando ambos os taludes uma inclinação de 3:2. Para além disso, no coroamento é colocada apenas uma camada de blocos, em que todos eles estão devidamente arrumados. No pé do talude, do lado exterior, será aberta uma vala com cerca de 0.7 m de profundidade e 3.5 m de largura, ou seja, uma vala com dimensões tais para que seja possível acomodar dois blocos cúbicos Antifer parcialmente “enterrados”, Figura 2. Em seguida, no pé do talude, é executada uma risberma com uma largura de cerca de 3.5 m e uma altura de cerca de 3.0 m. O perfil tipo proposto para o quebramar 2 apresenta duas camadas de enrocamento de 80 a 100 kN nos taludes e uma única camada no coroamento. Para além disso, o talude frontal terá uma inclinação de 2:1 e o posterior mantém a inclinação de 3:2 já usada na fase anterior do estudo. A transição entre as inclinações é realizada na parte posterior das cabeças, no remate contra o talude interior. O pé do talude frontal é constituído por uma berma com cerca de 5.0 m de largura construída através da abertura de uma vala da fundação com cerca de 1.0 m de profundidade e 3.0 m de largura (idêntica à

considerada na fase anterior do estudo), com o objetivo de proporcionar uma melhor estabilidade do enrocamento. O quebramar 3 apresenta um perfil quase idêntico ao quebramar 2. A única diferença está no manto resistente, que passa a ser constituído por enrocamento de 60 a 90 kN. Os dois quebramares verticais apresentam uma largura de 8.0 m e um coroaamento situado à cota +5.00 m ZH.

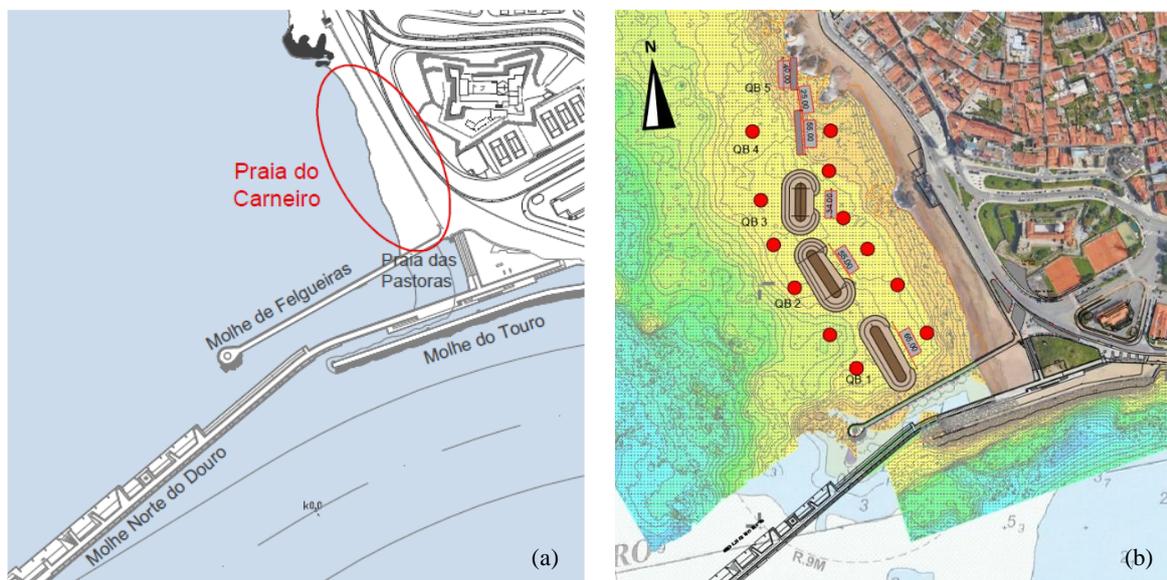


Figura 1 – Localização da Praia do Carneiro: (a) enquadramento da praia face às estruturas adjacentes, (b) enquadramento da praia com a batimetria da mesma e as respetivas estruturas propostas (Consulmar, 2019).

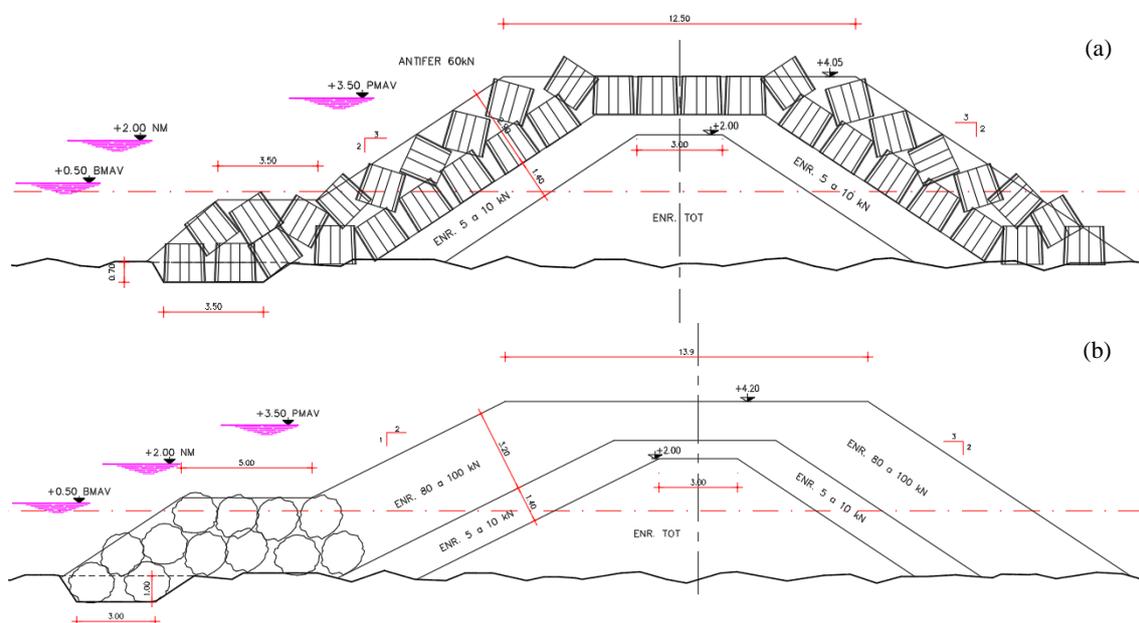


Figura 2 – Secções transversais dos quebramares 1 (a) e 2 (b) (Consulmar, 2019).

Os objetivos do estudo da solução proposta com um modelo físico 3D de fundos móveis são: (i) análise da eficácia dos cinco quebramares destacados a promover a rebentação das ondas incidentes, (ii) verificação da estabilidade da estrutura dos quebramares de taludes em enrocamento e em cubos Antifer e (iii) analisar qualitativamente o desenvolvimento de erosões localizadas junto dessas estruturas.

2. ESTUDO EXPERIMENTAL

O estudo em modelo físico das estruturas de proteção costeira propostas para melhorar as condições atuais da Praia do Carneiro foi realizado à escala geométrica 1/60, para condições de agitação provenientes do quadrante oeste-noroeste (WNW), no tanque de ondas do Laboratório de Hidráulica da Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente (SHRHA) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Figura 3.

A construção do modelo físico 3D foi realizada sequencialmente e incluiu: marcação das linhas de referência no tanque de ondas, posicionamento dos molhes de Felgueiras e molhe Norte da foz do rio Douro, colocação do muro marginal, posicionamento das régua que representam as cotas dos fundos, colocação dos afloramentos rochosos e das sondas de níveis hidrodinâmicos, colocação da areia e, por último, a construção dos quebramares destacados. A batimetria da Praia do Carneiro foi reproduzida no tanque de ondas com o auxílio de 12 linhas guia que serviam de referência para a colocação da areia. Na última fase da construção do modelo físico, para a reprodução dos três quebramares de taludes, foram usadas três régua colocadas no meio do tronco e nas secções de transição do tronco para as cabeças de cada uma das estruturas, para que todo o processo construtivo estivesse guiado e fosse realizado de uma forma precisa.

As condições de testes foram especificadas em função da altura de onda significativa (H_s), do período de onda de pico (T_p) e do nível de água. O programa de testes (Consulmar 2018, 2019) estabeleceu uma gama de valores para o período de onda de pico de 10 s, 14 s e 16 s, para os níveis de baixa-mar (BMAV +0.5 m ZH), nível médio (NM +2.00 m ZH) e preia-mar (PMAV +3.50 m ZH), ao qual foi adicionado durante a fase experimental o nível extremo (SS +4.75 m ZH). Para a altura de onda significativa foram considerados valores entre 2 m e 7.5 m, sendo que para alguns níveis de água a gama de valores de H_s oscilava apenas entre 2 m e 5 m, devido à rebentação induzida pela reduzida profundidade de água. A inclusão de um novo nível de água (nível extremo) no plano de testes teve por objetivo reproduzir um cenário real possível de acontecer durante a vida útil desta intervenção de proteção costeira, que possivelmente terá influência na eficácia e na estabilidade das estruturas destacadas, quer seja pelo facto de ondas de maior altura poderem chegar ao local da sua implantação, quer seja pela alteração do grau de submersão dos quebramares. Em todos os testes foram geradas 1000 ondas com uma ordem aleatória.

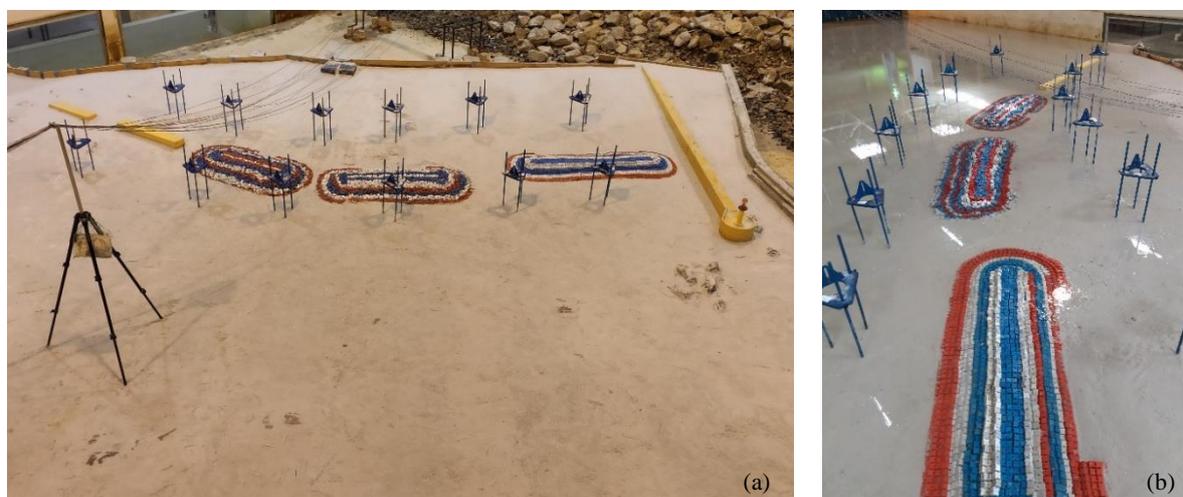


Figura 3 – Modelo físico da Praia do Carneiro: (a) fase final da construção do modelo físico, (b) modelo físico com o nível de água de PMAV (Taveira-Pinto, 2020).

Para reproduzir à escala pretendida as condições de agitação marítima selecionadas, foi utilizado um sistema de geração de agitação marítima desenvolvido pela *HR Wallingford* (UK). Este sistema está capacitado para gerar diversos tipos de ondas, nomeadamente ondas regulares, ondas irregulares de crista longa e de crista curta, e ainda estados de mar bidimensionais.

O sistema de aquisição de agitação marítima permitiu determinar a elevação da superfície livre da água, dentro do tanque de ondas, nos locais onde foram posicionadas as sondas de níveis hidrodinâmicos. Importa referir que foram utilizadas 12 sondas, seis colocadas a barlar dos quebramares num alinhamento sensivelmente paralelo a estas

estruturas, e as outras seis a barlamar. De forma a garantir a qualidade dos resultados, essas sondas foram calibradas regularmente, *i.e.*, diariamente ou sempre que havia mudança da profundidade de água no tanque de ondas.

Para analisar qualitativamente o desenvolvimento de erosões localizadas na envolvente às estruturas, durante e no final de cada ensaio, foram tiradas fotografias ortogonais ao plano das mesmas. Assim, foi possível correlacionar o aumento da altura de onda, período de pico e nível de água com o transporte sedimentar, assim como identificar as zonas com défice sedimentar e as zonas com acumulação de sedimentos (Figura 4).

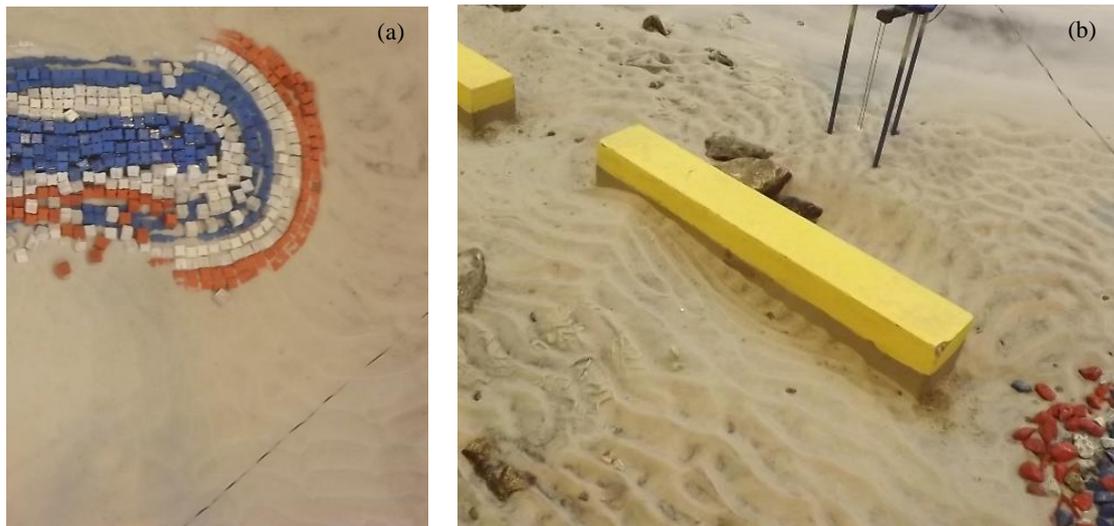


Figura 4 – Fossa da erosão localizada a barlamar do quebramar destacado 1 (a) e do quebramar destacado 4 (b) (Taveira-Pinto, 2020).

3. CONCLUSÕES

Após a realização de todos os ensaios foi possível concluir que a cabeça das estruturas costeiras destacadas é a zona considerada mais sensível e onde a análise das erosões localizadas e dos assoreamentos é mais complexa. A análise dos registos fotográficos obtidos permitiu concluir que, para agitação incidente de oeste-noroeste (WNW), os cinco quebramares destacados proporcionam uma zona tranquila a sotamar dos mesmos, com níveis de agitação consideravelmente mais baixos que na situação sem a colocação dos mesmos. Devido à colocação de uma risberma nos três quebramares de taludes, a ocorrência de erosões localizadas não teve impactos relevantes na estabilidade das estruturas ao longo dos ensaios. No entanto, os blocos de enrocamento e os cubos Antifer usados no estudo experimental, apesar de terem um peso maior relativamente ao primeiro projeto apresentado, movimentaram-se de forma significativa. A equipa projetista encontra-se a desenvolver uma nova alternativa de intervenção que, em função dos resultados obtidos, permita responder adequadamente às necessidades deste caso de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Consulmar, 2018. “Projeto de reabilitação e melhoria das condições na Praia do Carneiro: especificações para ensaios em modelo reduzido”, junho de 2018, incluindo peças desenhadas.
- Consulmar, 2019. “Projeto de reabilitação e melhoria das condições na Praia do Carneiro: especificações para ensaios em modelo reduzido”, junho de 2019, incluindo peças desenhadas.
- Taveira-Pinto, F.V.C., 2020. “Erosões Localizadas em Intervenções de Proteção Costeira Destacadas”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Julho. 133p.