

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA INTEGRAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE CONVERSÃO DA ENERGIA DAS ONDAS EM QUEBRAMARES PORTUÁRIOS

Tomás CABRAL^{1,2}, Daniel CLEMENTE^{1,2}, Paulo ROSA-SANTOS^{1,2}, Francisco TAVEIRA-PINTO^{1,2}

1. *Interdisciplinary Centre of Marine and Environmental Research (CIIMAR) of the University of Porto, Portugal.*

2. *Faculty of Engineering of the University of Porto (FEUP), Department of Civil Engineering, Hydraulics, Water Resources and Environment Division, Rua Dr. Roberto, Frias, S/N, 4200-465, Porto, Portugal, tcabral@fe.up.pt, ec10140@fe.up.pt, pjrsantos@fe.up.pt, fpinto@fe.up.pt*

RESUMO

As infraestruturas portuárias apresentam consumos de energia significativos e são, frequentemente, responsáveis pela poluição do ar e por outros problemas ambientais, que podem ser minimizados através da utilização de energia renovável, nomeadamente eletricidade gerada a partir da conversão da energia das ondas. O projeto SE@PORTS (OCEANERA-NET) visou avaliar a possibilidade e viabilidade de integrar as tecnologias de conversão da energia das ondas mais promissoras em quebramares portuários, para tirar partido da sua exposição à agitação marítima. O projeto conduziu ao desenvolvimento de uma tecnologia híbrida, que combina o princípio de funcionamento da coluna de água oscilante com o do galgamento, procurando explorar os pontos fortes de cada um deles. O estudo experimental da tecnologia integrada num quebramar foi realizado no Laboratório de Hidráulica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, tendo em vista: i) avaliar e otimizar o desempenho dessa tecnologia na conversão da energia das ondas; ii) analisar o impacto da mesma no quebramar, no que diz respeito ao seu comportamento à reflexão e ao galgamento. Para o efeito foi utilizado como caso de estudo a estrutura proposta para o prolongamento do quebramar Norte do Porto de Leixões, Portugal, que foi reproduzida à escala geométrica de 1/50. Este artigo avalia os efeitos da integração da tecnologia híbrida nesse quebramar de taludes, tanto em termos de estabilidade do manto resistente e risberma, como ao nível da sua funcionalidade e eficácia na prevenção e minimização de galgamentos. Os resultados obtidos mostraram que a integração da tecnologia híbrida no quebramar resulta numa diminuição da estabilidade dos blocos da risberma, pelo que a utilização deste tipo de soluções inovadoras deverá ser considerada durante o projeto do quebramar. Por outro lado, verificou-se que os caudais de galgamento foram significativamente reduzidos, melhorando-se assim as condições de tranquilidade e de segurança no interior da bacia portuária, assim como as condições de operacionalidade. Os coeficientes de reflexão obtidos são similares para os dois casos embora tenham aumentado ligeiramente quando a tecnologia híbrida foi integrada no quebramar exterior do Porto de Leixões. Os resultados obtidos são, portanto, favoráveis à integração deste tipo de dispositivos em quebramares portuários.

Palavras-Chave: coluna de água oscilante; galgamento; sistema híbrido; modelação física; manto resistente.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento do tráfego marítimo mundial tem potenciado o aumento das dimensões dos navios de transporte de carga e passageiros, nomeadamente em termos de calado e capacidade de transporte. Por forma a se manterem competitivas, as autoridades portuárias têm realizado investimentos no sentido de melhorarem as infraestruturas portuárias sob a sua tutela, nomeadamente através de obras de reabilitação e de expansão portuária. Tal permite a receção de navios de maior dimensão, assegurando também as condições de segurança e proteção contra a agitação marítima, necessárias à realização das actividades portuárias. Uma consequência deste desenvolvimento relaciona-se com a crescente necessidade energética dos portos, sendo a mesma suportada, sobretudo, direta ou indiretamente, pelo uso de fontes de energia não-renováveis. Aliado a este fato está ainda a poluição ambiental gerada pelas atividades portuárias e pelos navios, tendo a mesma impactos nefastos tanto em ecossistemas marinhos como na própria saúde humana (Schipper *et al.*, 2017). Como tal, torna-se pertinente tomar medidas de mitigação e compensação destes efeitos, tendo algumas autoridades portuárias tomado a iniciativa de promover várias acções, sendo uma das mais relevantes a introdução de fontes de energia renovável no *mix* energético portuário.

14.º SILUSBA

Neste contexto, o projeto SE@PORTS tem como objetivo o estudo e a otimização de dispositivos de conversão de energia das ondas que possam ser integrados em estruturas portuárias, nomeadamente quebramares. Sendo estas estruturas responsáveis pela proteção dos navios amarrados e das restantes infraestruturas portuárias da agitação marítima, em particular durante as situações de tempestade, a integração de tais dispositivos deve não só englobar uma perspetiva energética, mas também funcional e estrutural, por forma a não comprometer a função principal dos quebramares. No entanto, ao salvaguardar a mesma, a introdução desses dispositivos de conversão da energia das ondas permitirá o acesso a uma fonte de energia sustentável e limpa.

Existem diferentes tecnologias em desenvolvimento para quebramares portuários, como por exemplo a coluna de água oscilante (CAO) (Arena *et al.*, 2017) instalada no porto de Mutriku, ou o sistema de galgamento OBREC (Contestabile *et al.*, 2016) instalado no porto de Nápoles (Fig. 1). Como tal, no âmbito do projeto SE@PORTS, foram seleccionadas as tecnologias mais promissoras, passíveis de ser integradas em quebramares, para conceber uma solução híbrida. Essa tecnologia foi depois estudada em ambiente laboratorial e numérico, por forma a obter estimativas sobre a sua produção energética, bem como avaliar o seu impacto na funcionalidade e na estabilidade dos quebramares usados como caso de estudo, elevando-se assim o nível de prontidão tecnológica do conceito.



Fig. 1. Coluna de água oscilante em Mutriku, Espanha (esquerda) e dispositivo de galgamento OBREC instalado no porto de Nápoles, Itália (direita).

2. ESTUDO EXPERIMENTAL

Um dos casos de estudo do projeto SE@PORTS foi a estrutura proposta para a extensão do quebramar Norte do Porto de Leixões, Portugal. Esta obra está integrada num conjunto de estratégias de desenvolvimento da APDL (Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo) para os próximos anos. Para efeitos do estudo experimental realizado no tanque de ondas da Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente (SHRHA) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, cujas dimensões são $28 \times 12 \times 1.2 \text{ m}^3$, foram providenciados dados sobre a agitação marítima nas imediações do Porto de Leixões (LNEC, 2017), que permitiram a definição de um conjunto de estados de mar a testar. O estudo da tecnologia híbrida foi realizado à escala geométrica de 1:50, para condições normais de operação (não analisadas neste artigo) e para condições extremas (Tabela 1).

Tabela 1. Condições de agitação marítima extremas para o nível médio de baixa-mar (NMBM) e nível médio de preia-mar (NMPM).

H_{m0} (m)	T_p (s)	Nível do Mar
6.0	13	NMBM
7.7	16	NMBM
8.0	16	NMBM
6	13	NMPM
7.7	16	NMPM
9.1	16	NMPM

A tecnologia híbrida foi definida a partir da combinação dos conceitos de CAO e de dispositivo de galgamento, Fig. 2. As principais características da componente de galgamento foram estabelecidas através de uma análise numérica preliminar, nomeadamente a posição dos 4 reservatórios para produção de energia. No que concerne à componente CAO, foram seleccionadas 3 geometrias diferentes por forma a estudar a sua influência no sistema como um todo, nomeadamente em termos de energia produzida. O período de ressonância da CAO foi ajustado

14.º SILUSBA

para corresponder aos períodos de ondas mais energéticos. No modelo físico, os volumes de galgamento foram estimados com o auxílio de sondas resistivas colocadas dentro de reservatórios auxiliares, cada um ligado a um dos reservatórios principais do dispositivo de galgamento. Um quinto reservatório foi adicionado para medir o caudal de galgamento sobre o coroamento da estrutura.

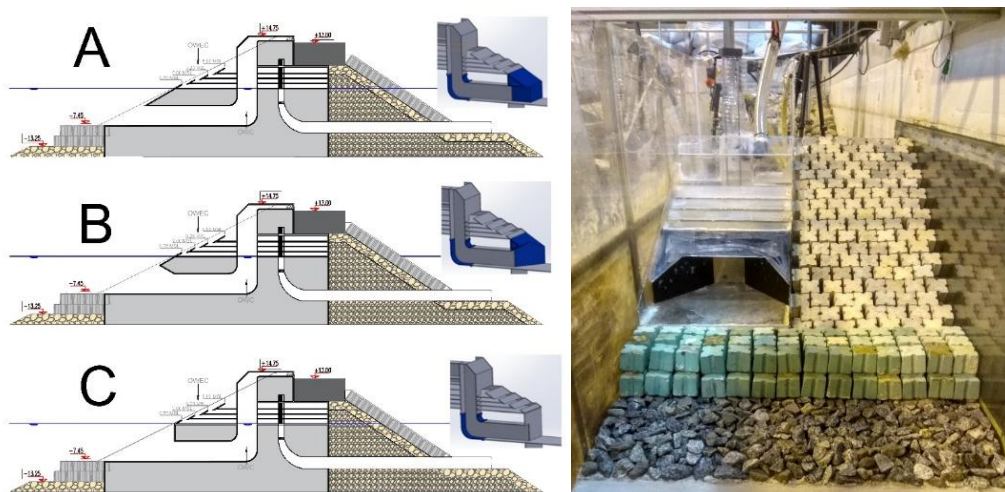


Fig. 2. Tecnologia híbrida e geometrias da CAO (esquerda) e modelo físico testado (direita).

O estudo experimental foi realizado dentro de um canal criado no interior do tanque de ondas, com uma largura de 0.84 m, Fig. 3. Foram utilizados 4 grupos de sondas resistivas: S1, S4, S5 e S6 para a análise da reflexão das ondas geradas; S9 para monitorização das condições em frente à estrutura e obtenção de dados para a validação dos modelos numéricos; S10, para medir a variação da superfície livre da água dentro da CAO; S3, S7, S8, S11 e S14, para a medição da variação da superfície livre da água dentro dos reservatórios auxiliares R1, R2, R3, R4 e R5, tendo em vista a obtenção do volume de galgamento capturado pelos reservatórios principais do dispositivo de galgamento. Por fim, de referir que a posição dos blocos que compõem a risberma e o talude do quebramar foi monitorizada no final de cada ensaio, por intermédio de duas câmaras de vídeo e de uma câmara fotográfica com uma vista aérea sobre o modelo físico.

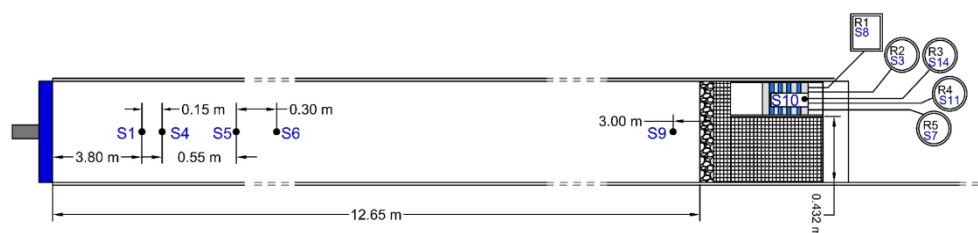


Fig. 3. Setup experimental no canal construído dentro do tanque de ondas da SHRHA da FEUP.

3. RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos, foi possível concluir que a introdução do conversor de energia das ondas resulta numa redução média de aproximadamente 50% do caudal de galgamento sobre o coroamento do quebramar, para as condições de agitação marítima consideradas (Fig. 4). O coeficiente de reflexão aumentou, ligeiramente, com a introdução da tecnologia híbrida no quebramar de taludes, variando os valores desse coeficiente entre 0.20 e 0.40.

Em termos de estabilidade da risberma e do talude do quebramar, foi possível observar a ausência de movimento destes blocos durante os ensaios. Em contraste, verificou-se um movimento mais notório dos blocos da risberma, tanto em número como em magnitude do deslocamento, nos testes que foram realizados com o conversor de energia das ondas integrado no quebramar, Fig. 5.

14.º SILUSBA

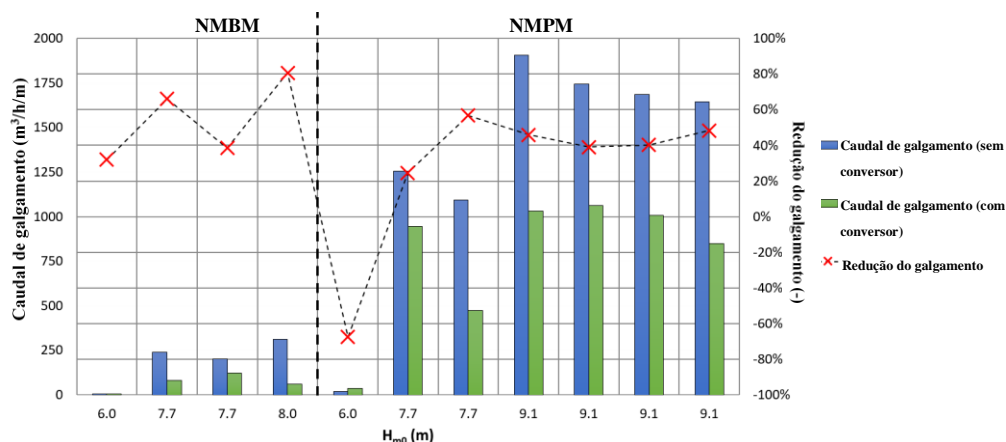


Fig. 4. Caudal de galgamento sobre o quebramar, com e sem o conversor de energia das ondas integrado.

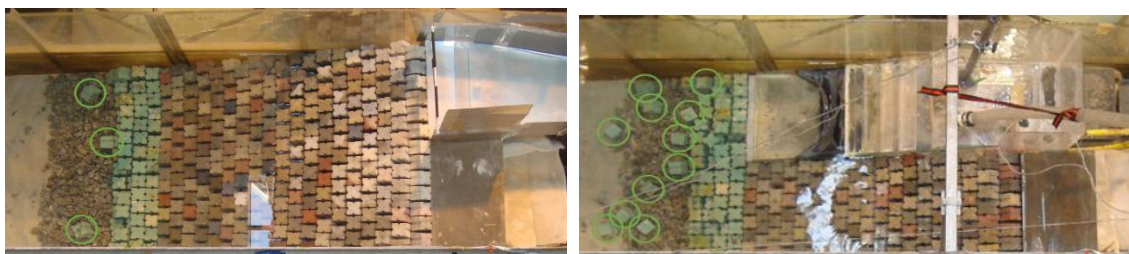


Fig. 5. Posição final dos blocos após os ensaios realizados sem (esquerda) e com o dispositivo híbrido (direita).

4. CONCLUSÕES

O estudo permitiu identificar potenciais situações de instabilidade na risberma do quebramar introduzidas pelo conversor de energia de ondas híbrido. No entanto, as mesmas, não foram severas o suficiente para comprometer a estabilidade ou integridade da estrutura do quebramar, para as condições testadas. Por outro lado, a introdução desse dispositivo potenciou uma redução do volume de galgamento sobre o coroamento do quebramar de taludes embora tenha aumentado, ligeiramente, o seu coeficiente de reflexão.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo projeto *SE@PORTOS – Energia Sustentável em Portos Marítimos*, com a referência OCEANERA/0004/2016, através da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arena, F., Romolo, A., Malara, G., Fiamma, V., Laface, V., 2017. The First Full Operative U-OWC Plants in the Port of Civitavecchia, in: Volume 10: Ocean Renewable Energy. Presented at the ASME 2017 36th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, ASME, Trondheim, Norway, p. V010T09A022. <https://doi.org/10.1115/OMAE2017-62036>.
- Contestabile, P., Lauro, E.D., Buccino, M., Vicinanza, D., 2016. Economic Assessment of Overtopping Breakwater for Energy Conversion (OBREC): A Case Study in Western Australia. *Sustainability* 9, 1–28.
- LNEC, 2017. Estudos em Modelo Físico e Numérico do Prolongamento do Quebra-mar Exterior e das Acessibilidades Marítimas do Porto de Leixões (No. No. 227/2017), Estudo I – Regimes de agitação marítima. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, Portugal.
- Schipper, C.A., Vreugdenhil, H., de Jong, M.P.C., 2017. A sustainability assessment of ports and port-city plans: Comparing ambitions with achievements. *Transp. Res. Part Transp. Environ.* 57, 84–111. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.08.017>.