



PREVISÃO DA EVOLUÇÃO DO DANO EM QUEBRA-MARES DE TALUDES. UMA NOVA ABORDAGEM

Rute Lemos¹; Ana Mendonça¹; Conceição J.E.M. Fortes¹; Carolina Martinez¹; Lucas Brito²; Helder Girão³; Tiago Lopes³; Nuno Lopes²; Ana Prior²

¹LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil; ²Instituto Superior de Engenharia de Lisboa; ³ISEC - Instituto Superior de Educação e Ciências

rlemos@lnec.pt, amendonca@lnec.pt, jfortes@lnec.pt, cmartinez@lnec.pt, A49820@alunos.isel.pt, nuno.lopes@isel.pt, ana.prior@isel.pt, heldersilvaqirao@gmail.com, 20230245@alunos.iseclisboa.pt.

Resumo

Os quebra-mares de taludes são um tipo de estrutura de proteção portuária onde podem ser necessárias obras de reparação ou manutenção ao longo da sua vida útil. Nesse sentido, têm sido desenvolvidas fórmulas empíricas para a previsão da evolução do dano, de modo a proceder atempadamente a obras de reparação.

Em Melby e Kobayashi (1998 a,b) e em Melby (1999) é apresentada uma fórmula de previsão da evolução do dano no manto resistente, com base nas características das ondas incidentes, e na avaliação da evolução do dano ao longo de séries de ensaios de longa duração de uma secção de quebra-mar, cujo manto era composto por enrocamento.

O presente estudo visa revisitar as fórmulas de evolução do dano propostas por Melby (1999), adaptando-as ao comportamento dos mantos resistentes constituídos por Tetrápodos. Este estudo propõe-se reajustar os coeficientes empíricos, a_p e b , da formulação original a este tipo de blocos.

O caso de estudo utilizado foi o quebra-mar do porto da Ericeira, tendo sido realizadas 3 séries de ensaios em modelo físico tridimensional, uma delas de longa duração. Com base nestas séries de ensaios resultaram novos coeficientes, com os quais se conseguiu descrever razoavelmente a tendência da evolução do dano obtido durante os ensaios em modelo físico.

Introdução

Melby e Kobayashi (1998 a,b), introduziram uma nova abordagem na formulação empírica de previsão da evolução do dano, ao desenvolverem um modelo que reconhece os efeitos estocásticos e cumulativos dos impactos individuais das ondas. Este modelo preditivo parte do princípio de que cada onda contribui, de forma cumulativa, para a deterioração global da estrutura. Uma descrição detalhada desta metodologia é apresentada em Melby (1999). A fórmula empírica que relaciona os danos médios com as características espectrais da agitação foi apresentada por Melby e Kobayashi (1998 a,b) como:

$$\bar{S}(t) = \bar{S}(t_n) + a_p (N_{m0})^5 (T_p)^{-b} (t^b - t_n^b) \quad \text{para } t_n < t < t_{n+1} \quad (1)$$

onde

- $N_{m0} = (H_{m0}/D_{n50})$ é o número de estabilidade;
- D_{n50} é o diâmetro nominal do bloco;
- $\bar{S}(t)$ e $\bar{S}(t_n)$ são o parâmetro adimensional do dano médio nos instantes t e t_n , respetivamente;
- T_p é o período de pico espectral;
- a_p e b são parâmetros empíricos, onde a_p está associado às características físicas do manto resistente e da altura de onda e b associado à influência do tempo e do período da onda na progressão do dano.

Na formulação original proposta por Melby (1999), os valores propostos para estes coeficientes empíricos foram $a_p=0.0202$ e $b=0.25$.



Lemos et al. (2023) realizaram três conjuntos de ensaios em modelo reduzido bidimensional, à escala de 1:50, de uma secção do quebra-mar da Ericeira. Deste trabalho resultaram novos coeficientes a_p e b adaptados a mantos constituídos por Tetrápodos, onde os coeficientes ajustados foram $a_p = 0.030$ e $b = 0.16$. O presente estudo pretendeu validar estes coeficientes, através da realização de ensaios com condições de agitação semelhantes, desta vez com recurso a ensaios em modelo físico tridimensional, sujeito aos efeitos da batimetria na propagação da agitação.

Ensaio em modelo físico

Foram realizados ensaios em modelo físico tridimensional, num dos tanques de ondas irregulares do LNEC, onde foi representado o quebra-mar do porto da Ericeira e a bacia portuária até à sua entrada (Figura 1a). O modelo foi construído e explorado à escala 1:65 de acordo com a lei de semelhança de Froude. O manto resistente do quebra-mar desenvolve-se em talude com uma inclinação de 2:3, constituído por: Tronco: Tetrápodos de 300 kN com $D_n=0.034$ m e uma porosidade de 0.45; Cabeça: Cubos Antifer de 550 kN com $D_n=0.042$ m e uma porosidade de 0.30.

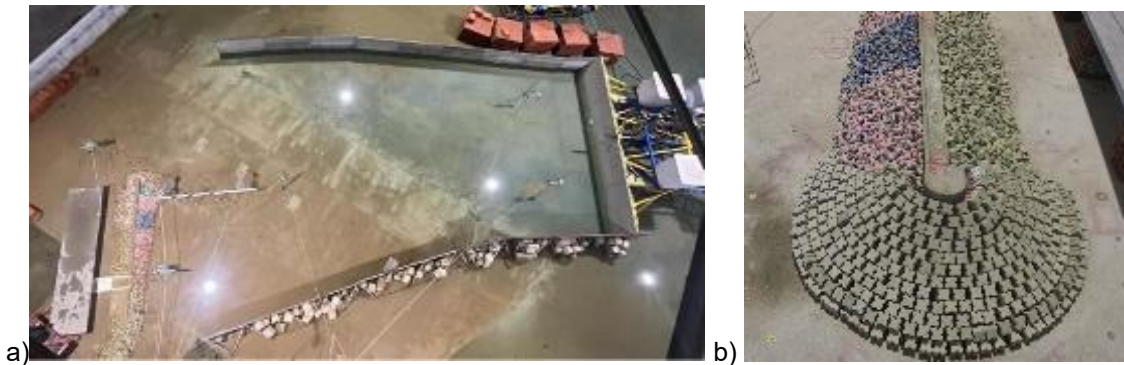


Figura 1. Implantação no tanque (a) e detalhe do modelo físico do quebra-mar da Ericeira (b)

Os ensaios compreenderam dois níveis de maré: +2.0 m (ZH) e +4.0 m (ZH). As condições de agitação ensaiadas compreendem períodos de pico de 14 s e de 16 s e alturas de onda significativas que variaram entre 5.0 m e 8.0 m. Os testes foram realizados de acordo com três sequências de teste. As duas primeiras sequências (Sequência A e Sequência B) foram realizadas com níveis de maré, períodos de pico e alturas de onda significativas crescentes. A diferença entre a sequência A e a sequência B reside na sua duração. Na sequência A, os estados de mar foram repetidos indefinidamente, até à estabilização dos danos, antes de passar para o estado de mar seguinte, tendo sido realizados 56 testes. Por outro lado, a sequência B teve uma duração predefinida de 15 testes. A sequência C compreendeu também 15 testes, conduzidos com alturas de onda significativas crescentes, mas desta vez com níveis de água e períodos de pico decrescentes.

A avaliação do dano foi realizada com base no volume erodido calculado com base em levantamentos tridimensionais realizados com um sensor de posição Kinect V2 no início das séries de ensaios e após a atuação de cada condição de agitação.

Resultados

Para cada sequência de testes, o parâmetro adimensional do dano ($S=A_e/D_n^2$) foi determinado através do volume erodido (VE) do manto resistente, o qual permitiu calcular a área erodida média (A_e) relativa ao comprimento da secção em análise. A Figura 2 ilustra o modelo e os mapas de distâncias no final das séries de ensaios A e B.

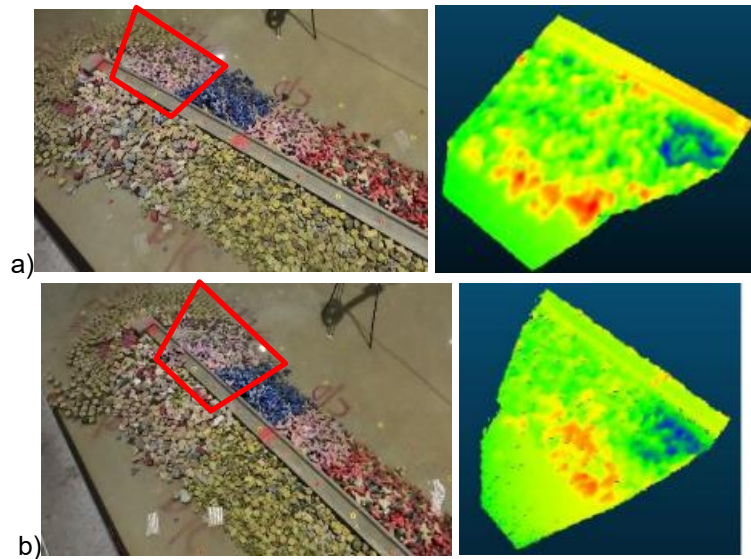


Figura 2. Aspeto do modelo e mapas de diferenças no final das Séries de ensaios A (a) e B (b). (azul: remoção; vermelho: depósito).

Para a determinação dos parâmetros a_p e b que melhor se ajustassem aos valores do dano S medidos nos ensaios, foi criada uma matriz de valores previstos, aplicando a fórmula de Melby usando diferentes combinações de valores a_p e b . Foi, posteriormente, selecionada a combinação que apresentou o menor erro quadrático entre os valores previstos e medidos. Atendendo a que a progressão do dano foi mais rápida nos ensaios com o período de pico mais longo, foram calculados parâmetros a_p e b distintos para ambos os períodos ensaiados.

Os coeficientes que melhor se ajustaram à série A foram: $a_p=0.03$ e $b=0.27$ para $T_p=14$ s (RMSE=0.33) e $a_p=0.03$ e $b=0.47$ para $T_p=16$ s (RMSE=2.5). Os valores de S previstos usando estes coeficientes apresentaram uma concordância razoável com os valores medidos (Figura 3). Os valores de a_p e b propostos foram validados com a série de ensaios B (Figura 4). Os valores de dano previstos para a série de ensaios B apresentaram também uma boa concordância com os valores medidos.

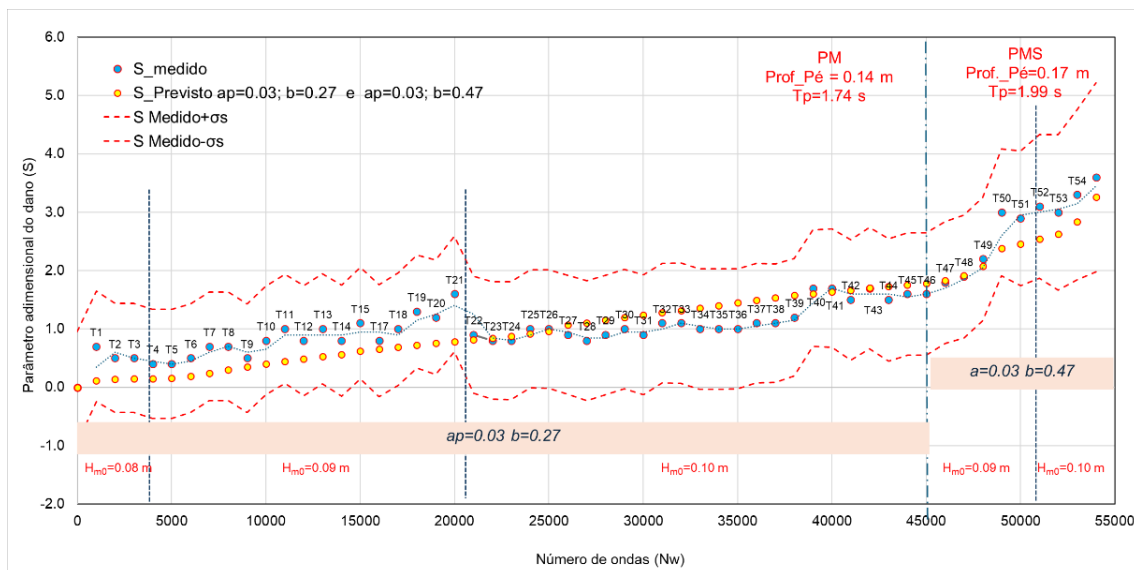


Figura 3. Valores do dano (S) medidos e previstos com os parâmetros a_p e b calibrados com a série de ensaios A.

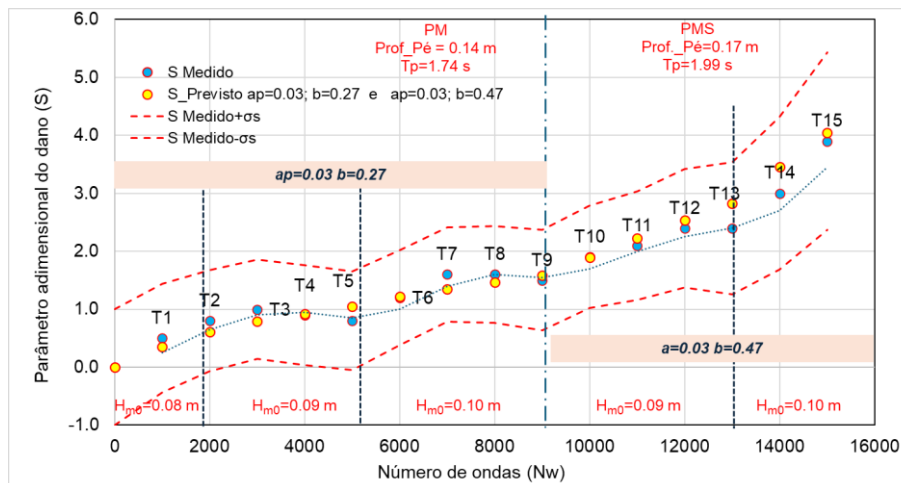


Figura 3. Valores do dano (S) medidos e previstos com os parâmetros a_p e b . Validação com a série de testes B.

Conclusões

A formulação proposta por Melby e Kobayashi (1998 a,b), quando ajustada com os coeficientes $a_p=0.03$ e $b=0.27$, traduz relativamente bem os valores de dano (S) obtidos durante os ensaios associados a um dano de evolução mais lenta, como é o caso dos ensaios associados a período mais curto. Para os valores de dano associados ao período de pico mais longo, a progressão do dano foi notoriamente mais rápida e os coeficientes $a_p = 0.03$ e $b = 0.47$ foram os que melhor se ajustaram aos valores de S obtidos nos ensaios.

O coeficiente $b=0.27$ ou 0.47 variou significativamente relativamente ao obtido nos ensaios bidimensionais ($b=0.16$) realizados por Lemos et al. (2023). Este facto poderá ser justificado pelos efeitos tridimensionais impostos pela batimetria na propagação da agitação, originado concentrações de energia inexistentes no modelo bidimensional.

O procedimento utilizado neste estudo permite derivar os coeficientes a_p e b que ditam o modo de evolução do dano no manto resistente. Com a calibração destes coeficientes e o conhecimento do clima de agitação local, é possível prever a evolução do dano no manto resistente da estrutura num intervalo de tempo a contar da sua última inspeção periódica.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FCT o financiamento concedido ao projeto COASTLIFE - Melhoria das estruturas costeiras e portuárias para promover a resiliência costeira, a melhoria ecológica e a ligação da comunidade com a orla marítima”, LISBOA2030-FEDER-00918000/14681 e ao Instituto Superior de Educação e Ciência através do Projeto ProCoast 3D/CPISec/PID/001/2023-24

Referências Bibliográficas

- Lemos R., Santos J.A., Fortes C.J.E.M. (2023). “Damage Evolution Prediction during 2D Scale-Model Tests of a Rubble-Mound Breakwater: A Case Study of Ericeira’s Breakwater”. Modelling 2023 4, 1–17.
- Melby, J.; Kobayashi, N. (1998a). “Progression and Variability of Damage on Rubble Mound Breakwaters”. J. Waterw. Port., Coastal, Ocean. Eng., 124, 286–294
- Melby, J.A.; Kobayashi, N. (1998b). “Damage Progression on Breakwaters”. In Proceedings of the 26th International Conference on Coastal Engineering, Copenhagen, Denmark, 22–26 June 1998; Volume 2, pp. 1884–1897.
- Melby, J.A. (1999). “Damage Progression on Rubble-Mound Breakwaters”; US Army Corps of Engineers: Washington, DC, USA.