



ESTUDO EM MODELO NUMÉRICO DO GALGAMENTO EM ESTRUTURAS DE PROTEÇÃO MARGINAL

Moisés Brito¹; Teresa Tito²; Maria Cristina Afonso²; Maria Graça Neves³

¹UNIDEMI, Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, NOVA FCT, ²OCEANING—Engenheiros Consultores, ³CERIS, NOVA FCT, Departamento de Engenharia Civil
moisesbrito@fct.unl.pt, teresa.tito@oceaning.pt, cristina.afonso@oceaning.pt, mg.neves@fct.unl.pt

Resumo

Neste trabalho apresenta-se a aplicação do modelo IH2VOF para o cálculo do galgamento em diferentes soluções de uma estrutura marginal. As soluções estudadas variam entre um muro com geometria vertical e um muro com deflector de ondas, com ou sem proteção de um prisma de enrocamento. Estas soluções foram simuladas numericamente para agitação regular e a condição de agitação mais gravosa foi simulada considerando agitação irregular. Além do caudal médio galgado, são também analisados os valores do caudal máximo de galgamento e da velocidade máxima de galgamento. Em traços gerais, verifica-se que o muro vertical, por ser muito refletor, leva a que a altura de onda junto à estrutura seja, em muitos casos, superior à altura de onda incidente, conduzindo a valores do galgamento médio e máximo superiores ao caso com muro defletor. A colocação do manto de enrocamento, como seria de esperar, leva a uma redução do galgamento. Os resultados são apresentados e discutidos, analisando-se as vantagens e limitações da sua aplicação.

Introdução

Ao longo da costa existem inúmeras estruturas de defesa aderente constituídas por muro vertical que estão sujeitas a galgamentos relevantes pelo mar. Muitas destas zonas são cada vez mais utilizadas pelas populações para passeio ou atividades de lazer, pelo que é importante garantir a segurança das pessoas e bens face aquelas ocorrências.

A redução dos galgamentos poderá passar pela aplicação de prismas de enrocamento aderentes aos muros verticais, que ocupam uma faixa de largura significativa adjacente à obra existente, ou pela implementação de muros defletores com uma expressão mais reduzida.

Para selecionar a solução mais adequada, é necessário estimar o galgamento de cada solução alternativa e as fórmulas existentes nem sempre dão uma informação clara de qual a melhor solução. A utilização dos modelos numéricos, com resolução precisa na zona próxima da estrutura, constitui uma ferramenta mais adequada nestes casos. Atualmente dispõe-se de uma vasta gama de modelos que vão desde modelos simplificados que requerem menor tempo de simulação, como é o caso do modelo SWASH, a modelos mais complexos, que resolvem as equações RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes), como o IH2VOF ou FLUENT.

Neste trabalho apresenta-se a aplicação do modelo IH2VOF (<https://ih2vof.ihcantabria.com>), que é um modelo que resolve as equações RANS bidimensional (2DV) em meio fluido e poroso, já validado para diferentes estruturas costeiras e portuárias, ao estudo do galgamento de diferentes soluções de estruturas de proteção costeira para condições suscetíveis de ocorrer na costa oeste portuguesa.

Caso de estudo

A estrutura de proteção costeira de referência simulada é composta por muro vertical com as características apresentadas na Figura 1 a). Além desta, foram estudadas três soluções alternativas: muro com deflector de ondas (Figura 1b), muro vertical com proteção de prisma de enrocamento (Figura 1c) e deflector com proteção de um prisma de enrocamento (Figura 1 d). O pé de todas as estruturas está colocado à cota +2.7 m(ZH), e o seu coroamento à cota +7.6 m(ZH). Para cada uma das geometrias o modelo foi aplicado no cálculo do galgamento para dois níveis de maré: +3.7 m(ZH), correspondente à preia-mar de águas-vivas média, e

+4.3 m(ZH), correspondente a preia-mar com sobre-elevação e subida do nível do mar. Para cada nível de maré simularam-se condições de agitação regular máximas compatíveis com a profundidade da zona para períodos de 12 s e 18 s.

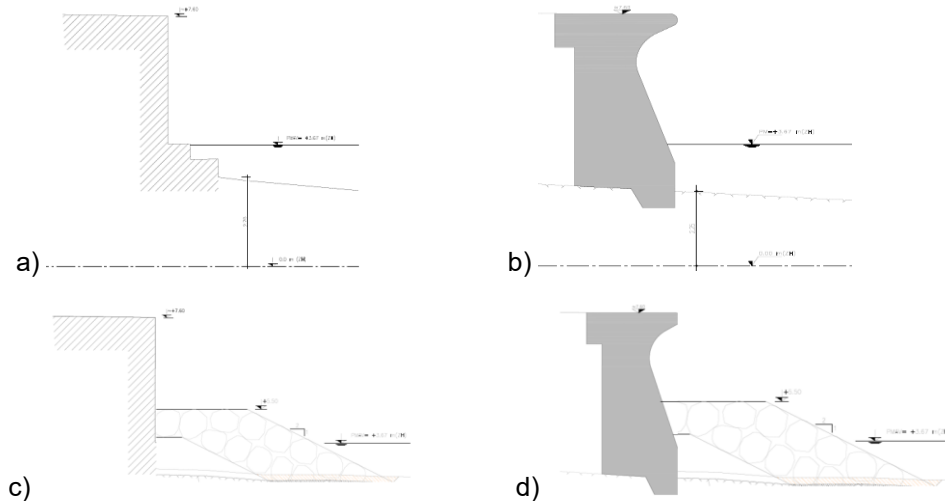


Figura 1. Geometrias simuladas com o modelo IH2VOF: a) muro vertical, b) muro com defletor de ondas, c) muro vertical e d) muro defletor com prisma de enrocamento.

Estas soluções foram simuladas numericamente com o modelo IH2VOF para agitação regular, com as características a uma profundidade de 0 m(ZH) apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Condições de agitação regular simuladas.

Caso	H (m)	T (s)	Nível do mar (m ZH)
1	2.4, 2.5 e 2.7	12	4.3
2	2.3, 2.5 e 2.9	18	
3	2.4	12	3.7
4	2.5	18	

A condição de agitação mais gravosa, ou seja, a que conduziu a maiores galgamentos, foi simulada considerando agitação irregular.

Aplicação do modelo IH2VOF

Para o estudo do galgamento na estrutura de proteção marginal, foi aplicado o modelo numérico IH2VOF (<https://ih2vof.ihcantabria.com>), um modelo bidimensional (2DV) que resolve as equações RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes), em meio fluido e poroso, com bons resultados para o estudo de galgamento.

O domínio da simulação inclui os fundos desde a profundidade 0 m (ZH) até 1 m acima da cota de coroamento da estrutura e horizontalmente aproximadamente 150 m. O domínio foi discretizado em elementos retangulares de dimensão variável, sendo de 0.05 m por 0.05 m na zona da estrutura. Na figura 2 apresenta-se, a título de exemplo, a malha para o muro defletor.

O tempo de simulação foi variável, correspondendo a cerca de 50 ondas no caso de agitação regular e 500 ondas para agitação irregular após a estabilização da simulação.



Figura 2 - Malha de cálculo com a simulação do fundo a partir de 0 m (ZH) e com muro defletor.

O modelo permite a colocação de sondas numéricas ao longo do domínio, onde se obtém a série temporal da elevação da superfície livre ao longo do tempo. A partir da série temporal da superfície livre, é possível calcular os valores de altura média de onda (H_{mean}) e período médio (T_{mean}) na sonda localizada no pé da obra. Na Figura 3 apresenta-se, a título de exemplo, a posição das sondas no domínio de cálculo e a série temporal obtida na sonda 1 para uma simulação com agitação irregular para o muro vertical.

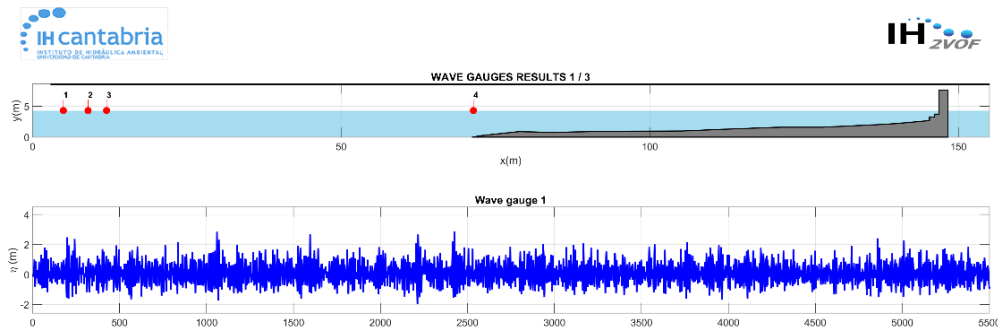


Figura 2 – Sondas numéricas: localização e séries temporais de elevação da superfície livre na sonda 1, com muro vertical.

Para a análise do galgamento, o modelo permite obter os caudais médios e máximos de galgamento, assim como a velocidade máxima de galgamento e a espessura da lâmina galgada no coroamento da estrutura. Na Figura 4 apresenta-se, a título de exemplo, os resultados do modelo no que respeita ao galgamento para um caso de simulação com muro vertical.

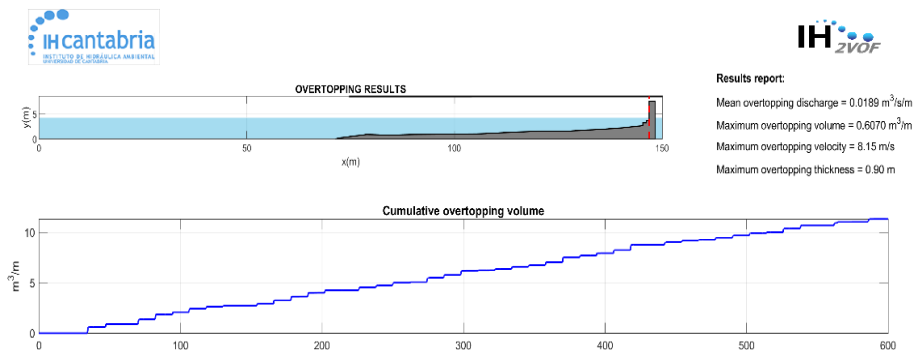


Figura 3 – Galgamento: relatório com os resultados principais e série temporal do volume acumulado de galgamento.

Resultados obtidos

O modelo foi aplicado inicialmente para todas as condições de agitação regular apresentadas na Tabela 1, para as situações de estrutura de proteção constituída por muro vertical e para o muro com deflector de ondas. Os resultados de caudal médio galgado, Q , e caudal máximo de galgamento, Q_{max} , são apresentados na Tabela 2, junto com a altura de onda obtida na sonda numérica localizada na proximidade do pé da obra, a uma profundidade de +1.5 m (ZH). Os maiores valores de Q e Q_{max} obtidos para cada uma das geometrias estão destacados a azul.

Como se pode observar, os maiores valores de caudal, quer médio quer máximo, foram obtidos para o maior nível de maré, como esperado, mas não para as maiores alturas de onda, já que, devido à reflexão da estrutura, mais intensa no muro vertical, verificou-se a ocorrência de rebentação antes de atingir a estrutura. Também em todos os casos o muro com deflector de ondas levou a uma redução do galgamento face ao muro vertical.



Tabela 2. Galgamento obtido das simulações do IH2VOF para agitação regular.

em 0 m (ZH)	H (m)	2.4	2.5	2.7	2.3	2.5	2.9	2.4	2.5
	T (s)		12			18		12	18
Nível do mar (m ZH)			4.3			4.3		3.7	
H _{1.5m} (ZH) (m)	Muro Vertical	1.67	1.68	1.73	1.35	1.19	1.3	1.13	0.86
	Muro com defletor	0.86	0.96	0.92	1.42	1.4	1.32	1.38	1.11
Q (m ³ /s/m)	Muro Vertical	0.020	0.019	0.019	0.015	0.010	0.011	0.001	0.000
	Muro com defletor	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Q _{max} (m ³ /s/m)	Muro Vertical	0.603	0.684	0.607	0.816	0.589	0.745	0.099	0.000
	Muro com defletor	0.302	0.224	0.062	0.253	0.038	0.000	0.000	0.000

Assim, para os casos com resultados mais desfavoráveis do ponto de vista de galgamento, simularam-se estas duas estruturas antecedidas de um prisma de enrocamento, Figura 1 c) e d). Finalmente, para a condição de agitação regular que levou aos maiores valores de caudal, médio e máximo, simularam-se as duas estruturas (muro vertical e com defletor) com agitação irregular, com um espectro Jonswap. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3. Os maiores valores de Q e Q_{max} obtidos para cada uma das geometrias estão destacados a azul.

Tabela 3. Galgamento obtido das simulações do IH2VOF para: a) agitação regular com muro protegido por prisma de enrocamento e b) agitação irregular.

em 0 m (ZH)	Nível do mar (m ZH)	Q (m ³ /s/m)		Q _{max} (m ³ /s/m)	
		Muro Vertical	Muro com defletor	Muro Vertical	Muro com defletor
a)	T (s)				
	12	4.3	0.015	0.000	0.907
	18	4.3	0.005	0.000	0.293
b)	T _p (s)				
	12	4.3	0.031	0.003	1.919

Como se pode observar, com o muro defletor com prisma de enrocamento não houve galgamento (Q_{max} = 0 m³/s/m), mas para muro vertical, mesmo com prisma de enrocamento, ocorreu galgamento e embora o caudal médio galgado seja inferior ao caso sem prisma de enrocamento, o galgamento máximo é superior. Os resultados de Q e Q_{max} obtidos com agitação irregular com H_s=H e T_p=T, são mais elevados, mas a tendência mantém-se: com muro defletor os caudais reduzem-se para menos de metade dos obtidos com muro vertical. Efetivamente, com muro com defletor o número de ondas que levam a galgamento reduzem-se bastante, como se pode observar na Figura 4, onde se apresenta a série temporal do volume instantâneo de galgamento, provando a eficácia do defletor neste caso.

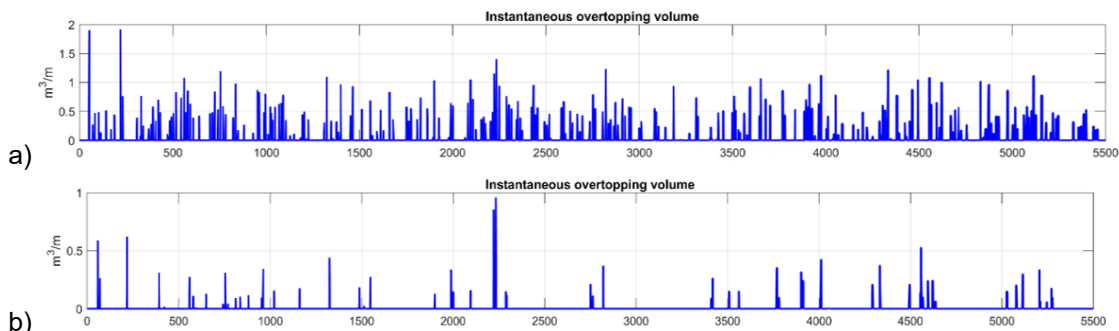


Figura 3 – Série temporal do volume instantâneo galgado para: a) muro vertical, b) muro com defletor de ondas.