



## EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DA LINHA DE COSTA A SOTAMAR DE UM QUEBRAMAR DESTACADO SUBMERSO: ENSAIOS EM MODELO FÍSICO

Francisco Sancho; Paula Freire; Fernando Brito  
Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente  
fsancho@lnec.pt, pfreire@lnec.pt, fmbrito@lnec.pt

### Resumo

A Agência Portuguesa do Ambiente adjudicou a elaboração de um estudo com vista à viabilidade de construção e caracterização de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira. No âmbito do mesmo, executaram-se ensaios em modelo reduzido no LNEC para o estudo da evolução morfológica da linha de costa a sotamar de um quebramar destacado submerso. Ensaiou-se uma estrutura com comprimento  $L_{qm}=300$  m, distância à linha de costa  $L_d=400$  m, e cota de coroamento  $h_c=+0,34$  m (ZH), posicionada paralelamente e obliquamente à costa. Neste trabalho apresentam-se as técnicas de fotogrametria utilizadas e resultados comparativos da evolução da linha de água e das topo-batimetrias, permitindo concluir sobre a influência do QMD no pretendido incremento da largura de praia, na frente da Praia da Vagueira.

### Introdução

Teve início em dezembro de 2018 o “Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira”, efetuado pelo consórcio LNEC-UAveiro-IST para a Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Este estudo tem como objetivo geral a proposta e análise de alternativas e soluções para um quebra-mar destacado (doravante, designado abreviadamente por QMD) em frente à Praia da Vagueira e a caracterização e definição de parâmetros de dimensionamento e localização do mesmo. Pretende-se que este QMD cumpra os seguintes objetivos, por ordem de prioridades: redução do risco de galgamentos costeiros; promoção do acréscimo do areal em frente à defesa aderente; e promoção de ondas de surf de referência, potenciando a economia associada a esta atividade.

Os QMD, como todas as obras fixas, não permitem resolver o problema de déficit sedimentar responsável pelo processo erosivo num determinado trecho, mas apenas proporcionam uma proteção local onde ela possa ser mais necessitada (e.g., num núcleo urbano). Assim o QMD pretendido visa proporcionar efeitos essencialmente locais, não substituindo intervenções que visem a correção de desequilíbrios sedimentares gerais. Havendo, atualmente, uma deriva litoral média significativa (da ordem de 200000 a 500000 m<sup>3</sup>/ano; Vicente e Clímaco, 2016) nas praias a sul da Vagueira, pretende-se que o QMD resulte na formação de um saliente, com o intuito de assegurar continuidade às correntes longilitorais de transporte de sedimentos, minimizando o fenómeno erosivo a sotamar desta estrutura.

De acordo com Sancho *et al.* (2020), são vários os desafios associados à construção de um QMD na Praia da Vagueira, nomeadamente: i) a avaliação da dimensão, localização e configuração do quebra-mar; ii) a estimativa dos impactos que provoca na hidrodinâmica, na dinâmica sedimentar e na morfologia do trecho costeiro onde se insere; iii) a compatibilização de todas as funções/objetivos, e iv) a definição dos materiais e da solução estrutural mais económica e com menor necessidade de operações de manutenção ao longo do tempo.

Com o intuito de responder a vários dos desafios elencados, o estudo conduzido para a APA inclui a modelação matemática, modelação física em modelo reduzido, monitorização e aquisição de dados *in situ*, e análise custo-benefício da melhor solução técnica. A modelação física contém duas componentes: i) o estudo do efeito do QMD na dinâmica sedimentar e morfodinâmica próximas; e ii) a análise e otimização da solução de QMD com vista à geração de ondas para o surf. Apresenta-se neste artigo a metodologia e os principais resultados relativos à primeira destas componentes, podendo encontrar-se em Mendonça *et al.* (2022) os resultados da segunda componente.

Assim, o presente artigo inclui, primeiramente, a descrição do modelo físico, das condições de ensaio e das metodologias relativas ao estudo morfodinâmico. Posteriormente, apresentam-se os principais resultados do efeito do QMD na dinâmica sedimentar próxima e a última secção contém uma síntese conclusiva.

## Modelo físico reduzido e condições e metodologia de ensaio

### Caracterização do Modelo físico

Os ensaios foram realizados no tanque de ondas irregulares do Pavilhão de Hidráulica Marítima do LNEC com aproximadamente 23,0 m de comprimento por 20,0 m de largura. Para a geração de ondas, utilizaram-se dois geradores de ondas irregulares com pás de 6 m de largura e 0,8 m de altura (Figura 1).

O modelo foi construído e explorado de acordo com a lei de semelhança de Froude a uma escala geométrica de 1:65. Esta escala geométrica do modelo resultou do compromisso entre as dimensões do tanque de ondas, as dimensões da zona de estudo e das obras a implantar, as características e capacidades dos batedores de ondas e as condições de agitação marítima, tendo ainda em consideração a dimensão do sedimento a utilizar no fundo móvel (Sancho *et al.*, 2021).

Procurou-se reproduzir, em modelo reduzido, uma areia que no protótipo apresenta  $D_{50,p}=0,5$  mm. Efetuaram-se diversos cálculos para o uso de baquelite ou areia, tendo-se concluído pela preferência da última face aos resultados da aplicação das leis de escala e volume de material necessário para o modelo físico (Sancho *et al.*, 2021). Optou-se assim pela utilização, no modelo reduzido, de areia siliciosa lavada com  $D_{50,m}=0,29$  mm e densidade igual a 2,65, correspondente à relação de escalas  $[D50]=0,56$ , com distorção da escala horizontal face à vertical,  $\delta=2,41$ . Ou seja, nestes ensaios espera-se a ocorrência de distorção da escala vertical face à horizontal, que será mais visível nos perfis de praia, em que os perfis no modelo reduzido deverão ter um declive cerca de 2,4 vezes superior ao declive representado em protótipo.

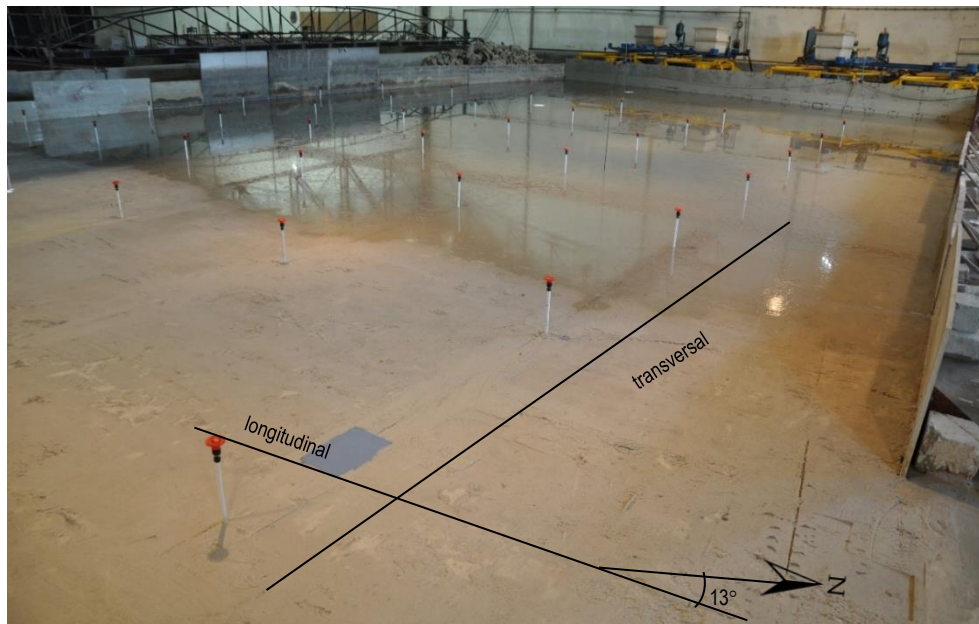


Figura 1 – Imagem do tanque de ondas onde foi construído o modelo físico, com indicação da orientação aproximada da direção longitudinal relativamente ao norte (em protótipo)

O modelo foi implantado sobre fundo móvel que reproduz as condições do protótipo (cerca de 810 m, longitudinalmente; 12,5 m em modelo) desde a batimétrica -12 m (ZH) até junto à costa. A Figura 2 mostra a planta do modelo físico executado, a posição das linhas batimétricas do fundo e dos geradores de ondas. Sobre este modelo de fundo arenoso foi, nas séries B e C dos ensaios (adiante referidas), implantado um QMD com comprimento  $L_{qm}=300$  m, distância à linha de costa  $L_d=400$  m, e cota de coroamento  $h_c=+0,34$  m (ZH). Esta cota de coroamento corresponde a um bordo livre (distância da cota de coroamento ao nível de água) igual a 1,83 m, ao nível médio do mar (NMM=+2,17 m ZH).

Cada conjunto de ensaios compreendeu a sujeição deste troço de linha de costa a uma série de condições de agitação marítima, de rumo constante (296°, à profundidade -12 m (ZH)), durante determinado tempo (variável consoante a série). Ao longo dos ensaios determinaram-se as posições da linha de água, recorrendo a técnicas fotográficas, e realizaram-se levantamentos topo-batimétricos com técnicas fotogramétricas, antes e após cada conjunto de ensaios. A análise centrou-se na evolução da linha de costa e da batimetria da zona costeira próxima, compreendida entre o QMD e a berma da praia.

Nos ensaios de morfodinâmica, cada conjunto de ensaios partiu da configuração inicial projetada para a batimetria (Sancho *et al.*, 2021) e foi conduzido durante determinado tempo, até se observar relativa estabilidade morfológica do modelo, i.e., sem alterações significativas na topo-batimetria final. Cada ensaio de morfodinâmica tem uma duração de, aproximadamente, 20 minutos, variável com o período de pico da condição de onda do ensaio. Esta duração corresponde a 6,1 horas no protótipo (escala de tempo morfodinâmico,  $[te]=1:18,4$ ).

Os ensaios consideraram 3 séries, pormenorizadas em Mendonça *et al.* (2022b): série A) ensaios de aferição do funcionamento do modelo reduzido, considerando uma configuração morfológica característica da atual; série B) ensaios considerando a implantação de um quebramar destacado (QMD) com 300 m de comprimento e distanciado 400 m da linha de costa, paralelo à praia; série C) ensaios com um QMD com as mesmas características que o da série B, mas posicionado com uma orientação oblíqua, de 45°, relativamente à linha de costa.

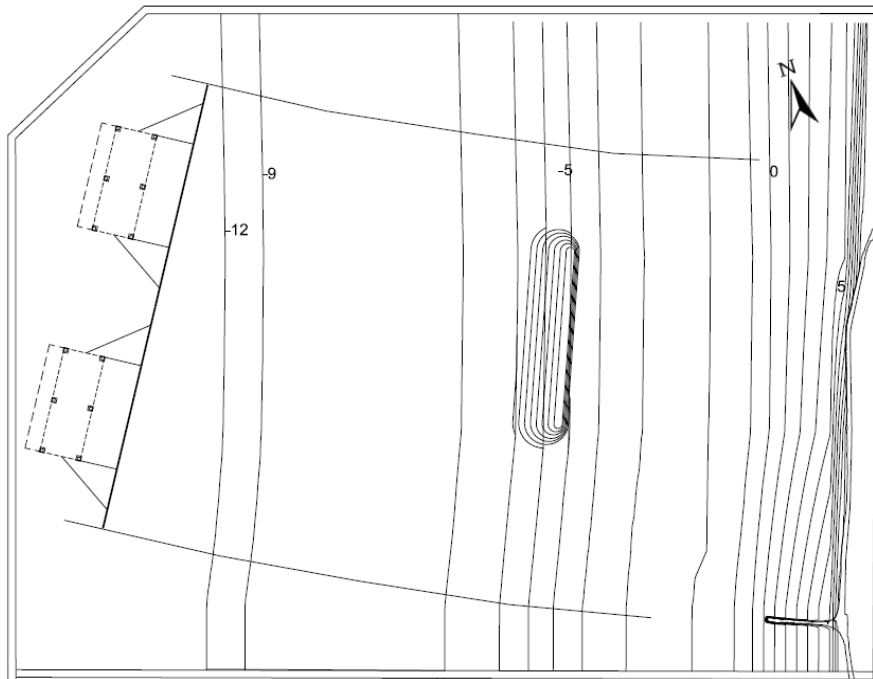


Figura 2 – Planta do modelo físico construído, com implementação do QMD paralelo à linha de costa



Tabela 1 – Nomenclatura de ensaios realizados

Série	Ensaio	Nível de água (m)	Comentário
A1	EM01 a EM26	NMM	Sem QMD
A2	EM401 a EM452	NMM	Sem QMD
B	EM101 a EM152	NMM	Com QMD c300.d400 paralelo à costa
C	EM301 a EM371	NMM	Com QMD c300.d400 oblíquo à costa

Na Tabela 1 identificam-se as séries realizadas. Muito sucintamente, a série de ensaios A, sem QMD, é, por sua vez, composta por duas fases designadas por série A1 e série A2. A série A1 serviu para o estabelecimento das condições de ensaio morfodinâmicas e observação geral dos processos morfológicos ocorridos no modelo físico. A segunda série, A2, consistiu na repetição exata da sequência de ensaios da série B (com QMD), realizados com nível médio de água (NMM). A série A2 consistiu na execução de 52 ensaios (EM401 a EM452) com nível médio de água (NMM) e alturas de onda significativa variáveis entre 1,26 e 2,0 m, com predominância de  $H_s=1,5$  m. Esta sequência teve uma duração duas vezes superior à da série A1, nomeadamente, de ~17,3 h no modelo, correspondendo 13,2 dias à escala do protótipo. A série de ensaios B abrangeu 52 ensaios ao nível médio de água (ensaios EM101 a EM152). A série de ensaios C foi realizada tendo como finalidade a otimização da configuração do QMD para gerar condições de onda propícias ao surf, não tendo, por isso, sido concebida para o estudo morfodinâmico. Contudo, aproveitou-se a realização desses ensaios para estudar a resposta morfológica do trecho costeiro com o QMD oblíquo à costa. Realizaram-se 70 ensaios no decurso da série C (EM301 a EM371), correspondendo à duração total de 23,3 horas à escala do modelo e de ~18 dias à escala do protótipo.

#### Metodologia

Nos ensaios de morfodinâmica recorreram-se a métodos fotogramétricos para a identificação da linha de água (também, neste contexto, designada por linha de costa) e execução de levantamentos topo-hidrográficos. Em todas as fotografias foi utilizada sempre a mesma máquina fotográfica e lente (Canon EOS 250D, de 6000x4000 pixéis, e lente Canon EF 35 mm 1:2). Para auxílio aos métodos fotográficos, foi colocada uma grelha de pontos fixos no modelo (Figura 1), distanciados de 2 m, que foram referenciados recorrendo a uma estação total.

Os levantamentos topo-batimétricos foram realizados com o tanque drenado por completo. Cada conjunto fotográfico foi obtido a partir de posições num passadiço rolante sobre o modelo. Cada levantamento fotogramétrico consistiu na tomada de centenas (entre 400 a 700) de fotografias em diversas posições, cobrindo toda (ou quase toda) a área de fundo móvel. Ilustra-se na Figura 3 a reconstituição fotogramétrica de um fundo, e a identificação de todos os pontos de tomada da fotografia. Posteriormente, cada conjunto fotográfico foi importado para o software Agisoft Metashape Professional, com o qual se efetuou o processamento de modo a obter, por fim, o modelo digital de terreno (MDT) correspondente. Muito sumariamente, este processamento envolveu os seguintes passos:

- i. Importação das fotografias e alinhamento das mesmas: o processo de alinhamento é automático e consiste na identificação de pontos comuns entre fotografias, construindo um mosaico final resultante da união destas;
- ii. Correção e eliminação de pontos espúrios;
- iii. Importação do conjunto de pontos de controle cotados e marcação em cada fotografia daqueles que são visíveis; este passo permite obter uma estimativa do erro do modelo fotogramétrico e transformação do mesmo para as coordenadas locais;
- iv. Construção de uma nuvem densa de pontos (tamanho do pixel da ordem de 0,1 mm);
- v. Geração do MDT a partir da nuvem densa e exportação daquele;
- vi. Geração de um ortofotomapa ou ortomosaico, se desejado.

Na Tabela 2 apresentam-se as médias dos erros médios quadráticos e desvios padrão resultantes de sete levantamentos fotogramétricos, efetuados em diferentes momentos, correspondentes a diferentes configurações do fundo. Os valores obtidos mostram que a precisão no plano horizontal (x, y) é da ordem de 1 cm, e no plano vertical (z) da ordem de 0,5 cm. O quadro está dividido em informação referente a “pontos de controle” e “pontos de verificação”, em que da grelha inicial de pontos cotados, os primeiros foram usados para o ajuste do modelo fotogramétrico às coordenadas locais do modelo e os segundos (em menor número) foram usados para verificação desse ajuste. Obtiveram-se resultados idênticos para ambos os conjuntos, embora quase sempre com menores erros médios para o conjunto “pontos de verificação”. Os desvios padrão são de ordem de 1-3 mm, significando que houve pequena dispersão entre levantamentos dos erros médios quadráticos respetivos.

Estes resultados permitem concluir sobre a precisão dos MDT obtidos, com imprecisões horizontais da ordem de 1 cm e verticais de 0,5 cm à escala do modelo, correspondendo a valores de ~65 cm e ~35 cm à escala do protótipo, respetivamente.

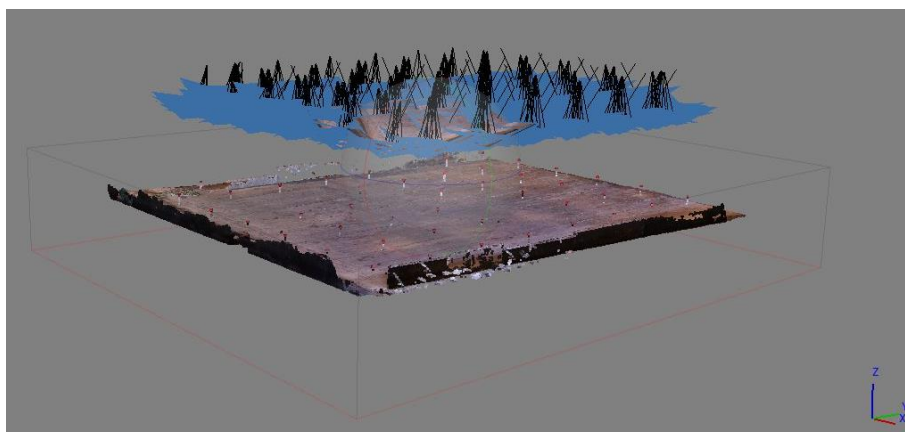


Figura 3 – Reconstituição do fundo com o tanque drenado, com identificação dos pontos de tomada de fotografias

Tabela 2 – Média dos erros médios quadráticos e desvios padrão resultantes de sete levantamentos fotogramétricos, estimados com o software Metashape

		x (m)	y (m)	z (m)
<b>Pontos de controle</b>	Erro médio quadrático	0,0116	0,0105	0,0060
	Desvio padrão	0,0019	0,0021	0,0008
<b>Pontos de verificação</b>	Erro médio quadrático	0,0086	0,0107	0,0049
	Desvio padrão	0,0028	0,0017	0,0013

Para posterior comparação dos levantamentos obtidos foram selecionadas as 5 áreas retangulares a seguir designadas (também identificadas na Figura 4) e limitadas pelas coordenadas indicadas:

- Área total:  $3 < x < 17$ ;  $1 < y < 12$  m
- ZA:  $3 < x < 7$ ;  $2 < y < 4$  m
- ZB:  $7 < x < 14$ ;  $1,5 < y < 3,5$  m
- ZC:  $7 < x < 14$ ;  $7 < y < 10$  m
- ZD:  $7 < x < 14$ ;  $5 < y < 12$  m

Os MDT utilizados na inter-comparação foram interpolados sobre uma malha de espaçamento quadrangular com 5 cm ou 1 cm de lado. As malhas mais grosseiras foram utilizadas para comparação da área total, enquanto as mais finas foram usadas nas comparações das zonas ZA a ZD. Estes MDT foram manipulados com o software Autocad®.

Mostra-se na Figura 4 o MDT obtido em determinado ensaio, com indicação da origem do sistema coordenado horizontal ( $x=0$ ,  $y=0$ ) e da grelha de pontos cotados. A origem do eixo vertical ( $z=0$ ) é o fundo plano horizontal do modelo em frente ao gerador de ondas, orientado positivamente para cima.

Além dos levantamentos fotogramétricos gerais, foram também tiradas fotografias da linha de água, antes e após determinado ensaio ou conjunto de ensaios, para extração da linha de água. Estas fotografias foram tiradas sempre pelo mesmo fotógrafo, aproximadamente, na mesma posição. Cada fotografia foi tomada com nível de água em repouso. Posteriormente, cada fotografia foi retificada para o sistema de coordenadas ortogonal local, usado na referência dos pontos de controle, recorrendo ao software “*Rectify Extreme Tool*” (Silva e Taborda, 2011). Previamente à retificação foi efetuada a correção da distorção da lente, com o mesmo software. O processo de retificação envolve a identificação dos pontos de controle (“cones” vermelhos) visíveis em cada fotografia, que permitem o cálculo da posição da câmara e sua orientação relativamente ao sistema coordenado local.

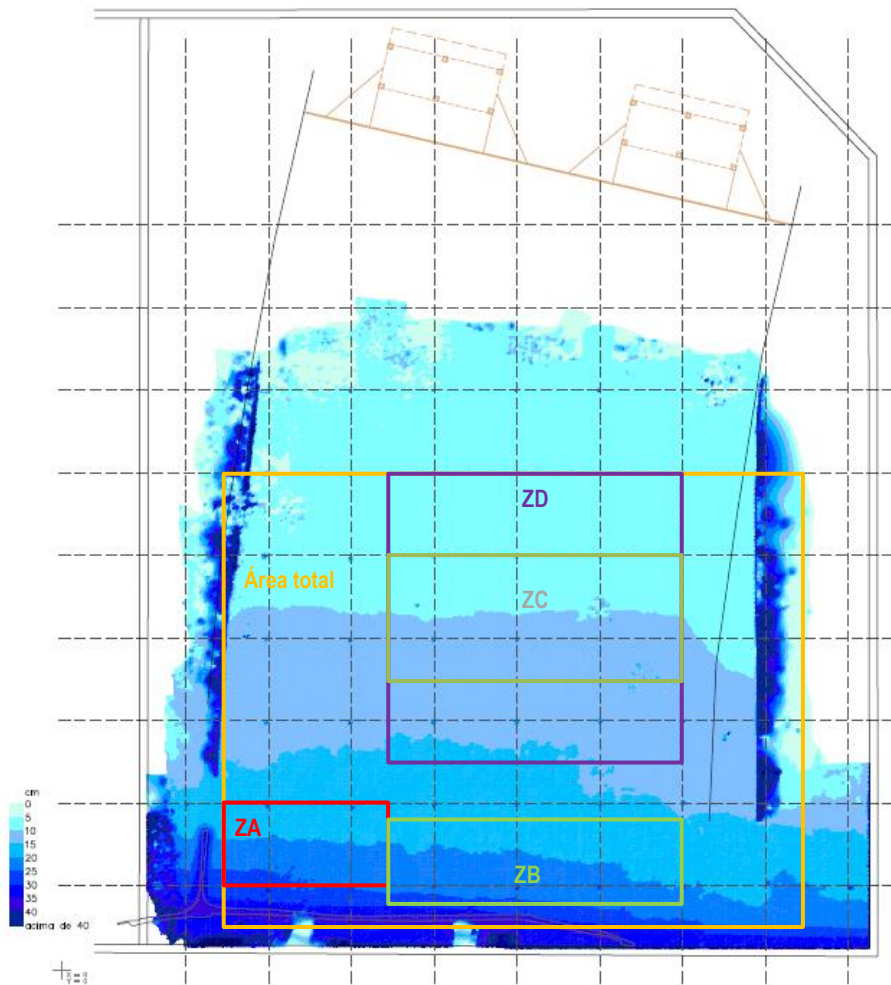


Figura 4 – Exemplo de MDT obtido por fotogrametria. Grelha de pontos de controle e origem dos eixos coordenados horizontais ( $x$ ,  $y$ ) locais. Referência das várias sub-áreas de comparação: área total (laranja); ZA (vermelho); ZB (verde); ZC (cinzento); ZD (violeta)

Após a retificação das imagens, digitalizou-se manualmente a linha de água em cada imagem retificada. Obteve-se assim a linha de água nas coordenadas locais do modelo físico. Efetuou-se este procedimento para todas as fotografias seleccionadas. A evolução da posição das linhas de água foi analisada através do software DSAS (Digital Shoreline Analysis System, version 5.0, Himmelstoss *et al.*, 2018) para o cálculo de recuos e avanços da linha de água. Para tal, foi marcada a linha base perto da estrutura de defesa longitudinal e determinadas as posições da linha de água em transectos distanciados de 10 cm entre si. Esta linha base tem origem em  $x=3,8$  m (no sistema de eixo coordenado local). Apresenta-se na Figura 5 um exemplo da imagem retificada com sobreposição da linha base, dos transectos e da linha de água identificada.

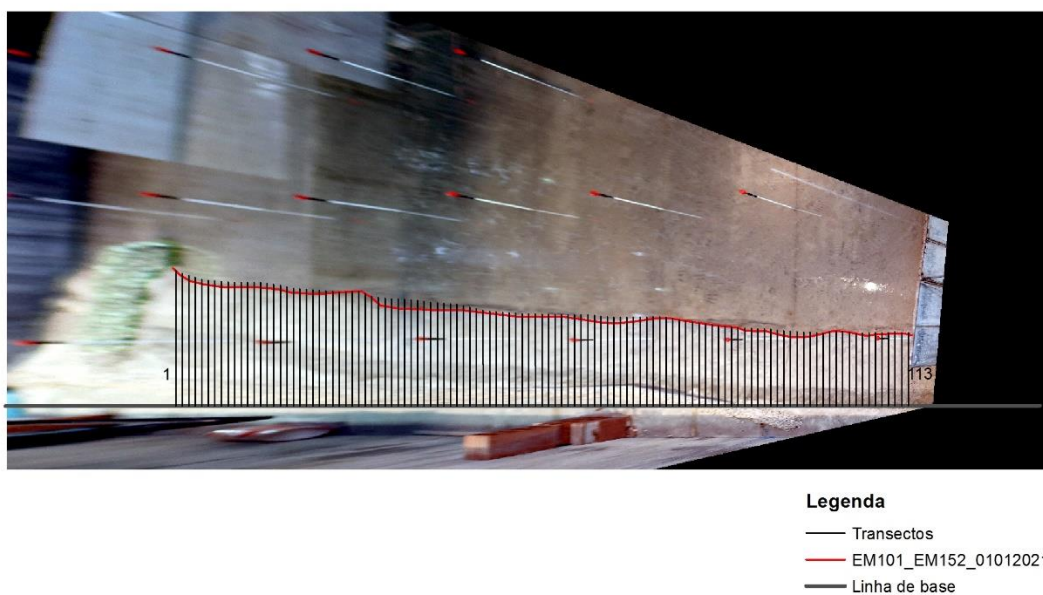


Figura 5 – Imagem retificada pós ensaio EM101, com identificação da linha base, dos transectos e da linha de água

## Resultados

No decorrer da série A1 realizaram-se alguns ajustes das guias laterais de orientação da agitação marítima e da condição fronteira a norte do modelo, que introduziram algumas modificações sedimentares locais e artificiais, principalmente junto à fronteira norte, mas que não alteraram o padrão geral de circulação. Não foi observado transporte sedimentar longitudinal, concluindo-se assim haver um equilíbrio entre a topo-batimetria base e a agitação quanto à dinâmica longitudinal. Este facto foi comprovado por flutuadores hidrodinâmicos que não mostraram deslocações longitudinais notórias. Quanto à dinâmica transversal, observou-se dispersão sedimentar no sentido transversal à praia

Na série B, a implantação do QMD paralelo à costa conduziu a uma alteração visível do padrão de circulação observado nas séries A1 e A2. Além do transporte sedimentar transversal, observou-se o crescimento de um saliente muito incipiente na zona abrigada pelo QMD (Figura 6, topo). Nesta figura apresenta-se ainda um esquema do padrão de circulação horizontal observado, recorrendo a traçadores Lagrangeanos de superfície. As velocidades sobre e imediatamente após o QMD são dominadas pela deriva de Stokes. A sotamar do QMD, formam-se duas células de circulação sensivelmente simétricas, com confluência para um agueiro central, o qual colide mais à frente com a circulação de Stokes sobre o QMD. As velocidades máximas associadas à deriva de Stokes foram da ordem de 3 cm/s (0,25 m/s à escala do protótipo). As velocidades nas células de circulação foram menos intensas.

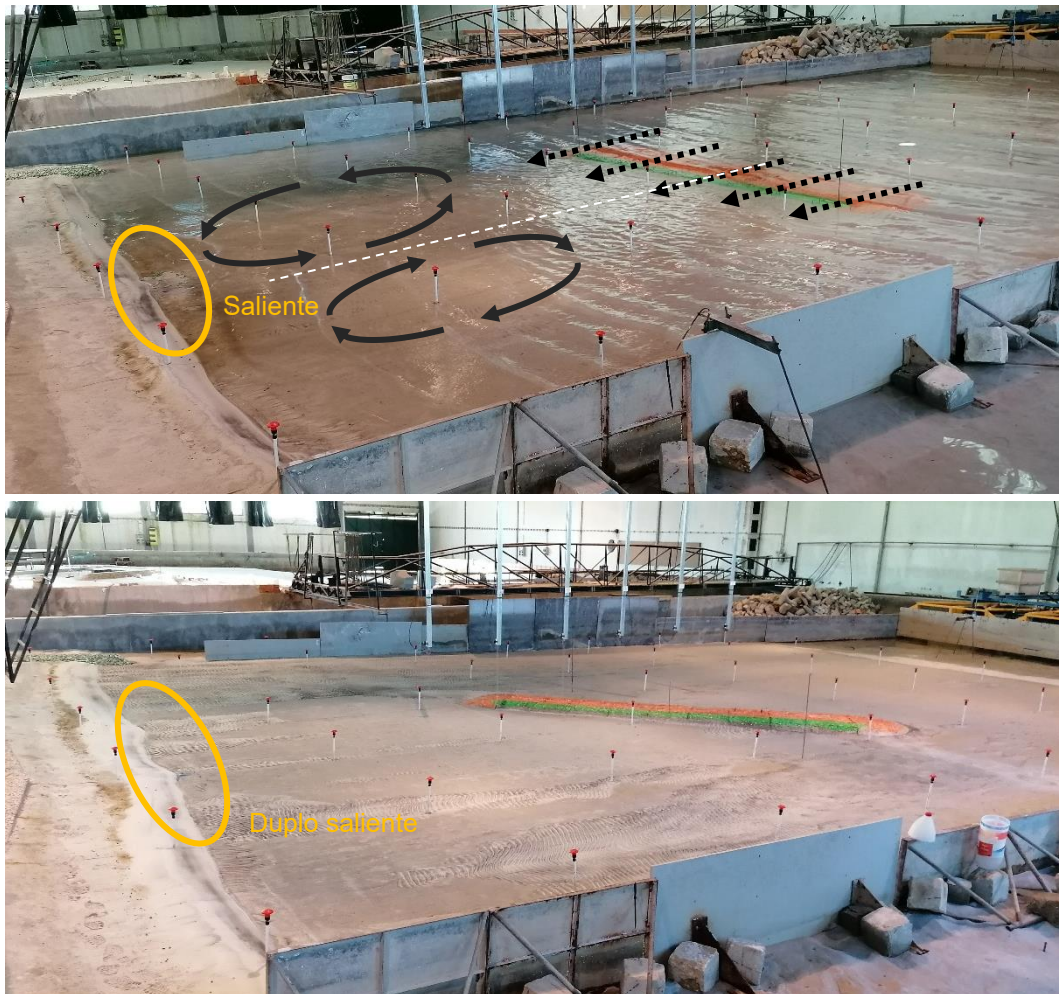


Figura 6 – Imagens dos salientes após a execução das séries B (topo) e C (abaixo)

A série C deu origem à formação de um duplo saliente (Figura 6, inferior). O primeiro, encontrava-se localizado segundo o eixo transversal do QMD, tal como tinha acontecido na série B. O segundo, cerca de 2 m (130 m em protótipo) mais a sul, encontrava-se alinhado com a cabeça sul do QMD. Note-se que nesta posição obliqua, o comprimento útil, paralelo à costa, da crista do QMD é aproximadamente 212 m, ou seja, a distância entre salientes será da ordem de metade do comprimento longitudinal do QMD (contando com o comprimento das extremidades submersas). Este duplo saliente resulta de um padrão de agitação marítima difratada assimetricamente sobre o QMD.

Apresenta-se seguidamente as diferenças entre os levantamentos final e inicial dos levantamentos topo-batimétricos das várias séries. Em todas as imagens, valores positivos indicam zonas de acumulação e valores negativos zonas de erosão. Atendendo à escala de cores e ordem de imprecisão vertical (Quadro 2.2), as áreas de cores mais tênues em redor do zero, i.e., entre  $-1 < \Delta z < 1$  cm, devem ser interpretadas como quase não havendo diferenças morfológicas.

Apresenta-se na Figura 7 as diferenças entre MDT na área total para as séries A1, A2, B e C. Em primeiro lugar, nota-se uma enorme diferença de padrões de erosão/acreção entre as séries A1 e A2, mostrando que, efetivamente, ocorreram erros metodológicos na execução da série A1, que conduziram a resposta do sistema ilustrada na Figura 7a. Assim, os resultados da série A1 devem ser interpretados com muita cautela, no respeitante a comparações com as restantes séries.

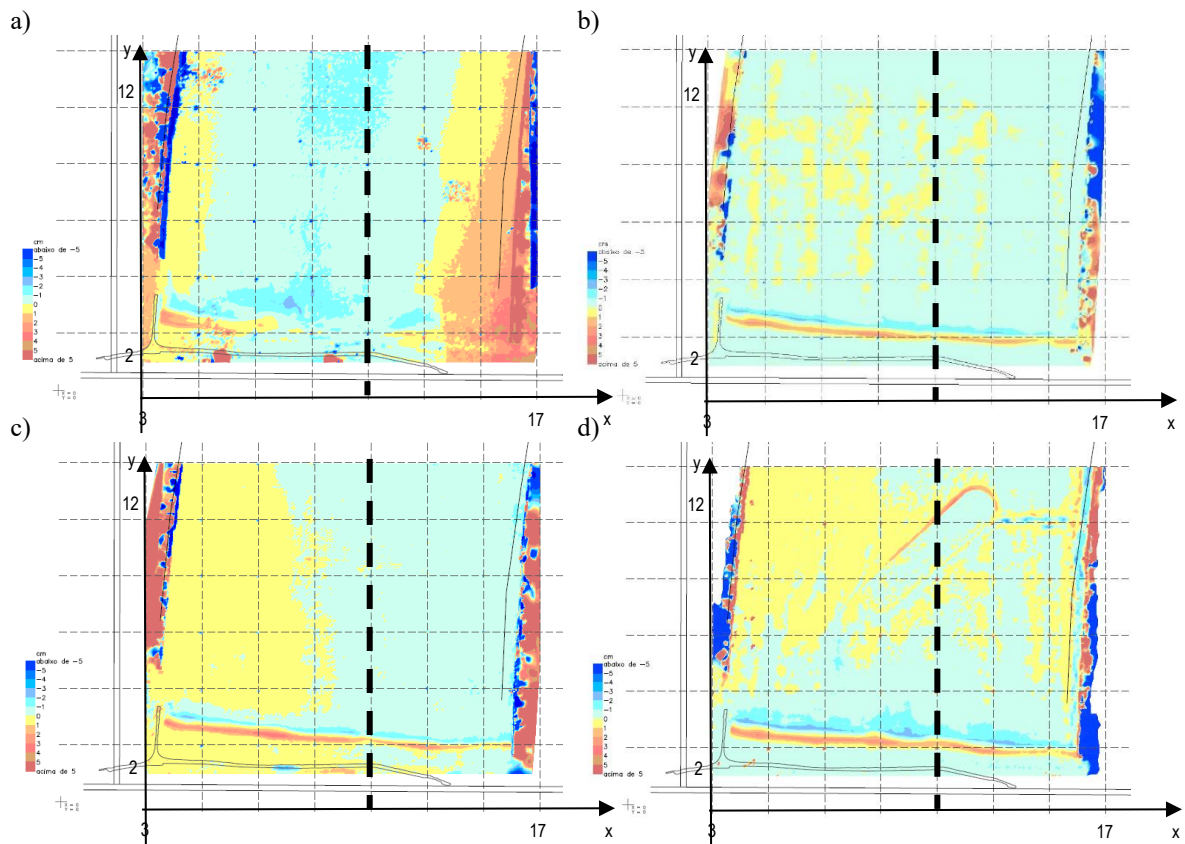


Figura 7 – Diferença entre MDT inicial e final para a área total das: a) série A1 (EM26 menos EM00); b) série A2 (EM452 menos EM400); c) série B (EM152 menos EM100); d) série C (EM371 menos EM300). (Quadrícula de 2x2 m e indicação do eixo transversal do QMD a tracejado negro)

A evolução morfológica associada à série A2 (Figura 7b) mostra essencialmente a formação de uma berma longitudinalmente uniforme, com erosão no sopé da face de praia. Este resultado é compatível com predominância do transporte transversal e (aparente) ausência de transporte longitudinal. Os resultados das séries B e C (Figura 7bc,d) mostram a construção de uma berma, não totalmente longilínea, devido à formação de salientes incipientes. Em resultado, e principalmente na série B, a construção da berma não foi uniforme, com menor expressão desta no alinhamento com o eixo transversal do QMD. Em qualquer das séries, a acreção na berma foi conseguida à custa de erosão no limite inferior, submerso, do espraio. Esta erosão é mais notória na série C, em resultado de um programa de ensaios com condições de agitação em média mais severas que os das restantes séries.

Apresenta-se, de seguida, as diferenças morfológicas ocorridas na área ZB (identificada na Figura 4), referente à zona abrigada pelo QMD. Na série A1 não se observaram alterações morfológicas significativas, nesta área, ao contrário do esperado e observado na série A2, onde se observou a formação de uma berma longitudinalmente uniforme (Figura 8a,b). A Figura 8c,d permite identificar com melhor clareza o crescimento dos salientes formados nas séries B e C, respetivamente. Em ambos os casos desenvolve-se um saliente incipiente no alinhamento do eixo transversal do QMD, com cerca de 14 cm de extensão transversal máxima (9 m em protótipo). No caso da série C, com o QMD oblíquo, desenvolve-se um segundo saliente a cerca de 2 m mais a sul, já referido anteriormente. Contrariamente ao expectável, o saliente central da série B tem menor largura (transversal) que o da série C. Tal deve, no entanto, ter ocorrido devido à diferença de condições hidrodinâmicas entre séries.



A Figura 9 mostra as linhas de água medidas no decurso da série B. O eixo vertical representa a distância à linha de base e o eixo horizontal a distância ao longo dessa linha (cuja origem  $X'=0$  coincide com a origem do sistema coordenado local,  $x=0$ ); a linha a tracejado cheio indica o eixo de simetria do QMD (quando presente). O esporão da Vagueira situa-se imediatamente à esquerda das linhas representadas e atente-se ainda à diferença de escalas dos eixos vertical e horizontal. Os resultados mostram pouca variabilidade da linha de água e não permitem identificar claramente o crescimento do saliente observado. Este saliente tem, à escala do modelo, uma acreção máxima de cerca de 10 cm (6,5 m no protótipo).

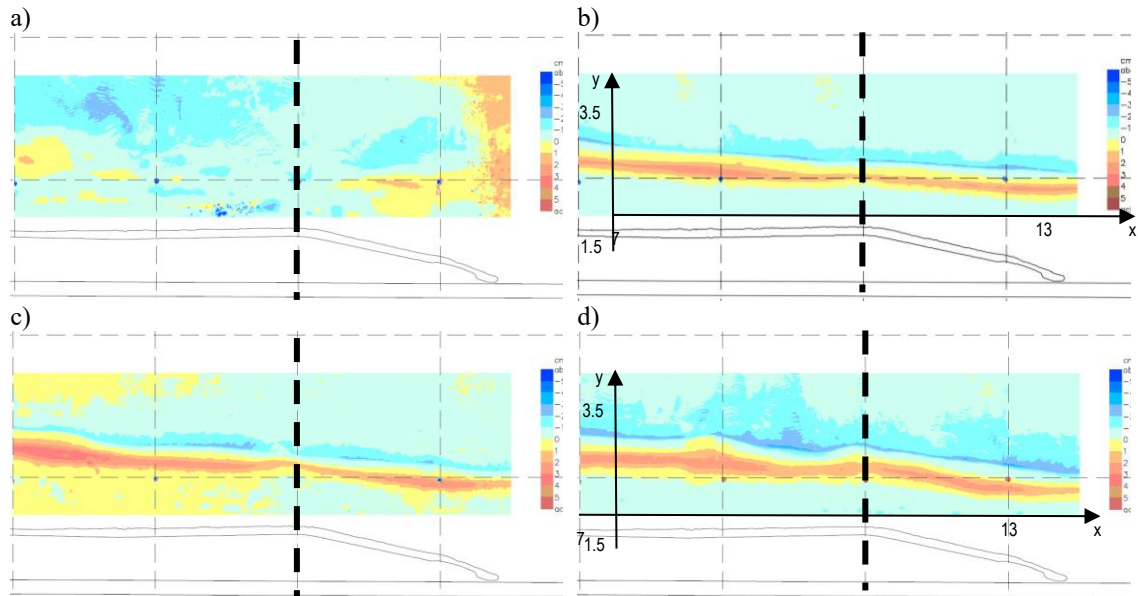


Figura 8 – Diferença entre MDT inicial e final para a área ZB das: a) série A1 (EM26 menos EM00); b) série A2 (EM452 menos EM400); c) série B (EM152 menos EM100); d) série C (EM371 menos EM300). (Quadrícula de 2x2 m e indicação do eixo transversal do QMD a tracejado negro)

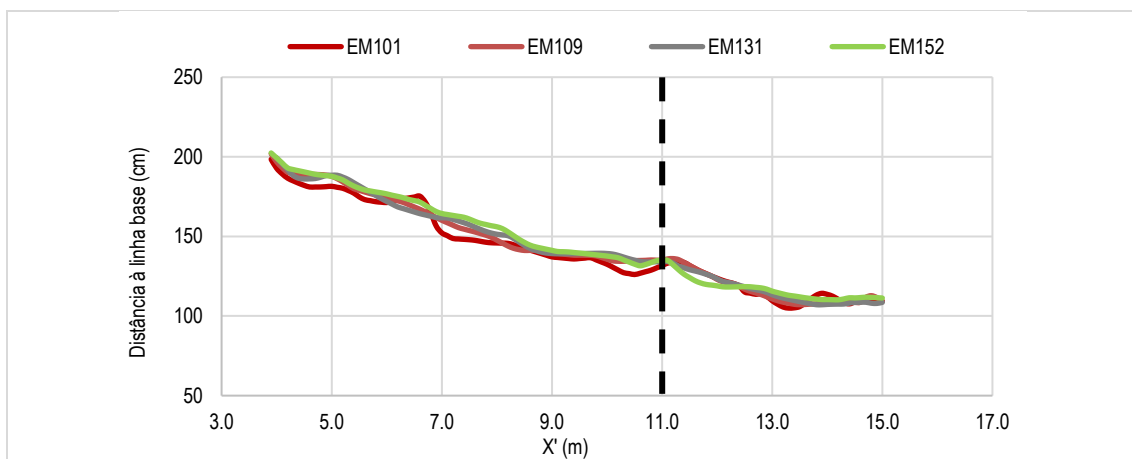


Figura 9 – Linhas de água obtidas durante a série B. (Eixo transversal do QMD a tracejado negro)



## Conclusões

Os resultados dos ensaios em modelo físico obtidos através das três metodologias de análise (observação descritiva, comparação topo-batimétrica e evolução da linha de água) são concordantes e permitem concluir o seguinte sobre a dinâmica sedimentar e evolução morfológica induzida por um quebra-mar destacado submerso:

- na ausência de QMD a dinâmica sedimentar é dominada por movimentos transversais à praia, promovendo a alteração do perfil na antepraia e baixa praia, e o reforço da berma. Estes movimentos sedimentares transversais são justificáveis pelos efeitos de distorção vertical-horizontal induzidos pela modelação física a esta escala e nas condições ensaiadas;
- na ausência de QMD não se verificou a ocorrência de transporte sedimentar longilitoral;
- a presença do QMD paralelo à praia, com as características geométricas ensaiadas ( $L_{qm}=300$  m,  $L_d=400$ ,  $h_c=+0,34$  m ZH), conduz à formação de um saliente, incipiente, simétrico relativamente ao eixo de simetria do QMD. Este saliente tem uma largura máxima, ao nível médio de água, da ordem de 8 m, à escala do protótipo;
- o QMD paralelo à praia proporciona a formação de correntes longitudinais e transversais na zona de sombra, com o padrão de circulação representado na Figura 6 (topo);
- o QMD oblíquo 45° à praia conduz à formação de dois salientes incipientes na zona protegida. Estes salientes têm larguras transversais máximas da ordem de 10 m, à escala do protótipo;
- considerando os efeitos de escala do modelo reduzido e em particular a distorção de escalas vertical-horizontal, crê-se que o saliente correspondente em protótipo ao obtido experimentalmente teria um declive mais suave e teria também maior largura transversal (da ordem do dobro, i.e., com valores da ordem de 15 a 20 m).

Como conclusão final, o saliente identificado é pouco expressivo, atribuindo-se tal a quatro fatores: i) duração limitada dos ensaios e das condições de agitação marítima atuante; ii) efeitos de escala que impedem a representação rigorosa da realidade em modelo físico; iii) elevada razão  $L_{qm}/L_d$  (comprimento do quebramar / distância à costa), insuficiente para favorecer a formação de um maior saliente; e iv) elevado bordo livre da estrutura submersa, que permite a transmissão de elevada energia das ondas sobre o QMD.

## Agradecimentos

Os resultados do presente estudo decorrem do Programa coordenado pela APA e cofinanciado pelo Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos, POSEUR -02-1809-FC-000039.

## Referências Bibliográficas

- Himmelstoss, E.A., Farris, A.S., Henderson, R.E., Kratzmann, M.G., Ergul, Ayhan, Zhang, Ouya, Zichichi, J.L., Thieler, E. R., (2018). Digital Shoreline Analysis System (version 5.0): U.S. Geological Survey software release, <https://code.usgs.gov/cch/dsas>.
- Mendonça, A., Martinez, C., Neves, M.G., Fortes, C.J., Reis, R., Bicudo, P., Sancho, F., (2022a). Modelação física de um quebra-mar destacado com diferentes ângulos de implantação: análise comparativa das condições de surfabilidade. 10as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária; Sines, 7-8 de abril.
- Mendonça, A., Sancho, F., Neves, M.G., Fortes, C.J., Freire, P., (2022b). Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à praia da



Vagueira. (T2) Estudos em modelo físico reduzido: Resultados do modelo – Relatório 13. Relatório DHA/NEC, LNEC.

Silva, A.N., Taborda, R. (2011). Rectify Extreme Tool: User Guide. Geology Department, Science Faculty of Lisbon University.

Sancho, F., Neves, M.G., Fortes, C.J., Oliveira, F.S.B.F., Silva, L.G., (2021). Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à praia da Vagueira. (T2) Estudos em modelo físico reduzido: Estabelecimento do modelo físico – Relatório 12. Relatório 408/2021 - DHA/NEC, LNEC.

Sancho, F., Oliveira, F. S. B. F., Fortes, C. J. E. M., Baptista, P., Roebeling, P., (2020). “Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira”. Atas das 6.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica / 1.as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia, Lisboa, 3 a 5 de novembro de 2020, 231-234.

Vicente, C., Clímaco, M. (2016). Previsão do comportamento de um quebra-mar destacado, na costa da Vagueira. LNEC, Lisboa. (Não publicado).