

O PAPEL DA MODELAÇÃO FÍSICA NO APOIO AOS ESTUDOS DE ENGENHARIA COSTEIRA E PORTUÁRIA. DESAFIOS E OPORTUNIDADES

THE ROLE OF PHYSICAL MODELLING IN THE SUPPORT OF PORT AND COASTAL ENGINEERING STUDIES. CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

C. J. E. M. Fortes, R. Capitão, R. Lemos, M. G. Neves, L. Pinheiro, M. T. Reis
Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal



RESUMO

Neste artigo, apresenta-se uma descrição do papel da modelação física no apoio aos estudos de Engenharia Costeira e Portuária, ilustrando-se as suas potencialidades com exemplos de casos de estudo.

Referem-se os contributos inovadores em conceitos, equipamentos, técnicas e procedimentos experimentais que têm sido desenvolvidos nos recentes anos. Assim, apresentam-se metodologias a explorar no futuro, tais como procedimentos destinados a facilitar, agilizar e automatizar as análises de estabilidade e galgamentos de quebra-mares, assim como dos danos no manto protetor, provocados pela agitação marítima nele incidente, e o acesso remoto a ensaios experimentais, e à informação associada à realização destes, a clientes/investigadores interessados.

Por fim, são apontados cenários de desenvolvimento para a modelação física de modo a lidar com as consequências das alterações climáticas, e que incorporem: a) sequências de eventos de temporal, incluindo efeitos cumulativos, b) a subida do nível médio do mar; c) técnicas de medição não intrusivas que permitam obter a análise de fenómenos complexos, com características de grande variabilidade temporal e espacial, sem interferir nos mesmos ou no próprio sistema modelado.

Palavras-chave: Modelação física, Casos de estudo, Desafios e oportunidades, Engenharia Costeira e Portuária

ABSTRACT

In this paper, a description of the role of physical modeling in the support of port and coastal engineering studies is presented, illustrating its potential through some case studies examples.

Some of the latest innovative contributions such as concepts, equipments, techniques and experimental procedures are pointed out. Thus, some methodologies for future development are presented as well, such as procedures to facilitate, and automate breakwaters' stability and over-topping analysis, as well as the damage to their outer layer, caused by incident sea waves. Another new technology to be developed is the remote access to experimental tests and the associated data, given to customers or interested researchers.

Finally, in order to deal with the consequences of climate change, some envisioned development scenarios for physical modelling are highlighted.

Keywords: Physical Modelling, Case Studies, Challenges and Opportunities, Port and Coastal Engineering

1 INTRODUÇÃO

A posição geográfica de Portugal, na costa ocidental da Europa, contribuiu sempre para o interesse dos portugueses pelo mar, quer do ponto de vista lúdico (desportos náuticos como a natação, o *surf*, a vela, o *wind-surf*...), quer do ponto de vista da pesca e do transporte marítimo. Esse interesse tem levado a intervenções na zona costeira para criação das melhores condições para a realização dessas atividades. Por outro lado, o crescimento da ocupação litoral de Portugal com a correspondente pressão urbanística, que se tem verificado nos últimos 50 anos, agudizou os efeitos da variação da linha de costa em certos troços da mesma, especialmente devido às consequências desta variação na segurança de pessoas e bens. Igualmente, a intensificação das trocas comerciais, obrigou à expansão portuária, levando ao aparecimento de novos portos ou à melhoria, expansão e manutenção de existentes. Do exposto, é clara a crescente importância assumida, em múltiplos aspetos, pela orla costeira e pelos portos, que determina a Engenharia Costeira e Portuária como ramo relevante da Engenharia Civil em Portugal.

São várias as metodologias utilizadas para apoio aos projetos de Engenharia Costeira e Portuária, desde a modelação numérica e física, as ferramentas empíricas e as medições *in situ*. Embora todas estas metodologias tenham vantagens e desvantagens, a modelação física é, sem dúvida, a que mais próximo representa os fenómenos envolvidos na ação da agitação marítima sobre as estruturas portuárias e costeiras, uma vez que permite “capturar”

instantaneamente os complexos processos físicos envolvidos na propagação de ondas e na interação destas com as estruturas.

Por isso, apesar de mais onerosa e demorada do que ferramentas empíricas ou modelos numéricos, a modelação física é muitas vezes a única capaz de modelar adequadamente alguns fenómenos físicos. Além disso, é imprescindível para o desenvolvimento de métodos empíricos e na calibração e/ou validação de modelos numéricos (Reis et al., 2014). É, assim, um importante instrumento de apoio a estudos e projetos de Engenharia Costeira e Portuária.

Esta comunicação ilustra, com casos de estudo, diferentes aplicações da modelação física, evidenciando contributos inovadores em conceitos, equipamentos, técnicas e procedimentos experimentais desenvolvidos recentemente no LNEC. Por outro lado, destaca-se o seu papel na articulação com a modelação numérica e são apontados linhas estratégicas para a modelação física de modo a tornar esta ferramenta capaz de lidar com situações que emergem das alterações climáticas.

2 O PAPEL DA MODELAÇÃO FÍSICA

A modelação física em Hidráulica Marítima é, sem dúvida, a representação mais próxima dos fenómenos envolvidos na ação da agitação marítima sobre as estruturas portuárias e costeiras, e serve de apoio quer ao projeto de obras marítimas, quer ao desenvolvimento de métodos empíricos, quer também à calibração e/ou validação de modelos numéricos.

Em Portugal, esta atividade tem vindo a ser desenvolvida, desde 1948, no Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas (NPE) do LNEC. O NPE dispõe de instalações experimentais com uma área de 6500 m², ocupada essencialmente por tanques e canais de ondas, apetrechados com sistemas de geração de ondas e com os equipamentos de medição necessários a este tipo de estudos.

O NPE já realizou mais de 250 estudos em modelo físico para apoio ao projeto de obras marítimas no país e no estrangeiro e para validação de modelos numéricos. Os ensaios mais frequentemente realizados são (Fig. 1): a) ensaios de estabilidade e galgamentos de estruturas marítimas; b) ensaios de agitação de zonas abrigadas, para avaliação das condições de tranquilidade; e c) ensaios de sobrelevação de zonas portuárias. Nos últimos anos, tem havido também a realização de ensaios em modelo físico de outras estruturas, tais como dispositivos de energia das ondas, emissários submarinos, quebra-mares flutuantes ou ensaios do movimento de navios.

Por outro lado, verifica-se o recurso, cada vez maior, a novas metodologias e tecnologias, para aperfeiçoar técnicas de controlo e medição, assim como aperfeiçoar e atualizar os equipamentos de medição (Fig. 1).



Fig. 1 – Modelos físicos: a) Agitação, estabilidade e galgamentos, Poças, Açores; b) Comportamento hidráulico de dispositivo de energia das ondas; c) Comportamento de navios

3 A MODELAÇÃO FÍSICA ATUAL

Nesta secção, apresentam-se exemplos do papel da modelação física no apoio aos estudos de Engenharia Costeira e Portuária e na calibração/ validação de modelos numéricos.

3.1 Ensaios correntes

3.1.1 Ensaios de estabilidade e galgamento

Os ensaios de estabilidade e galgamento de uma estrutura marítima podem ser bidimensionais ou tridimensionais, Fig. 2. Os primeiros realizam-se em canal e neles reproduz-se uma secção transversal da estrutura em estudo. Os ensaios tridimensionais realizam-se em tanque e para além da batimetria, reproduz-se ainda toda a geometria das estruturas a ensaiar, bem como a linha de costa adjacente às obras de proteção. Mas, em ambos os tipos de ensaio, o objetivo final é a análise do comportamento hidráulico-estrutural do manto resistente, com vista à otimização do seu pré-dimensionamento.

Mais especificamente, no caso de ensaios de estabilidade, após a reprodução da batimetria e das estruturas a ensaiar, efetuam-se testes correspondentes à ação de estados de agitação marítima, cujas características se pretendem semelhantes às dos estados de agitação de dimensionamento do manto protetor do protótipo. Avaliam-se então os estragos produzidos pela agitação incidente no manto resistente da estrutura em cada um dos troços da mesma.

Estes estragos podem traduzir-se no número de elementos do manto (blocos artificiais e/ou enrocamento) que alteram a sua posição devido à ação da agitação marítima incidente (os chamados “movimentos”), e dos elementos do manto que são deslocados da sua posição inicial mais do que uma dimensão característica do elemento (as chamadas “quedas”), Fig. 2a. Em geral, essa avaliação é efetuada apenas visualmente, sendo calculada a percentagem

de quedas e movimentos em relação ao número total de blocos.

Trata-se, assim, de uma metodologia muito dependente da experiência e da sensibilidade do técnico que realiza o ensaio. Para confirmação das quedas, é também usual o recurso a fotografias obtidas no início e no fim de cada ensaio, cujo objetivo é também o de ilustrar o curso de cada ensaio.

A avaliação dos galgamentos pode ser feita de modo qualitativo, através da sua classificação visual durante o ensaio, Fig. 2b. Esta avaliação baseia-se na forma como a onda ultrapassa o coroamento da estrutura (por salpicos, lâminas de água ou grandes massas de água). A avaliação dos galgamentos pode ser feita ainda de modo quantitativo, Fig. 2c, consistindo na medição do volume de água que transpõe o coroamento da estrutura. Neste último caso, utiliza-se normalmente um reservatório no tardo da estrutura, onde é recolhida e medida a água galgada.

Recentemente tem-se utilizado uma balança que efetua a medição de caudais individuais de galgamento ao longo do ensaio.

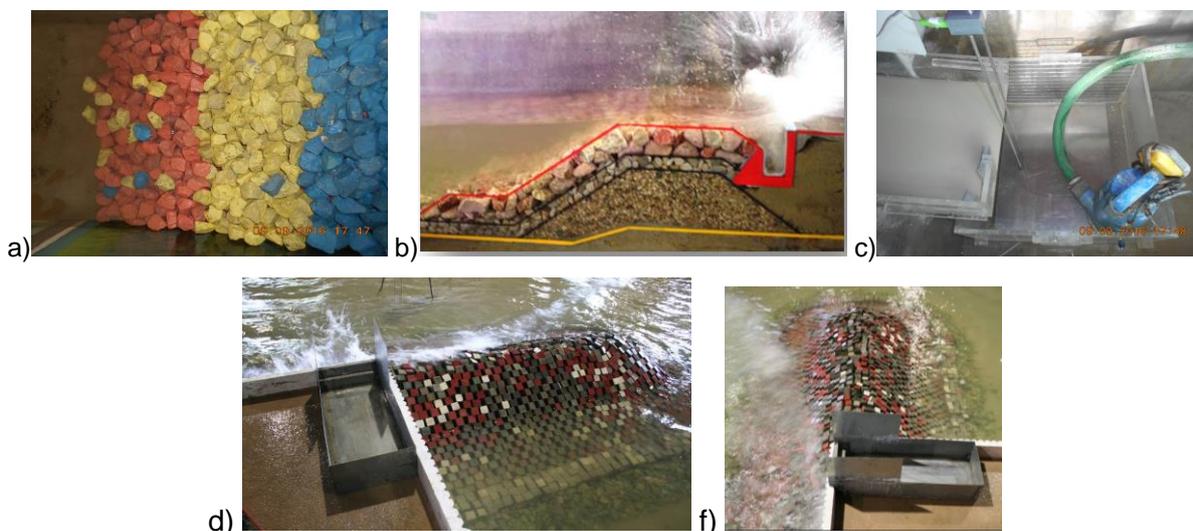


Fig. 2 – Ensaio bidimensionais: a) Estabilidade; b) Estabilidade e galgamentos; c) Medição do volume de galgamento com reservatório e balança; d) Ensaio tridimensionais de estabilidade e galgamentos com medição do volume de galgamento com reservatório

3.1.2 Ensaio de agitação e sobrelevação

Para a verificação da tranquilidade portuária em modelo físico procede-se à medição das características da agitação marítima à saída do gerador, no exterior da bacia portuária, na entrada e no interior do porto, recorrendo-se a sondas resistivas, Fig. 3a. Para a avaliação expedita das sobrelevações, são realizadas medições no interior da bacia portuária.

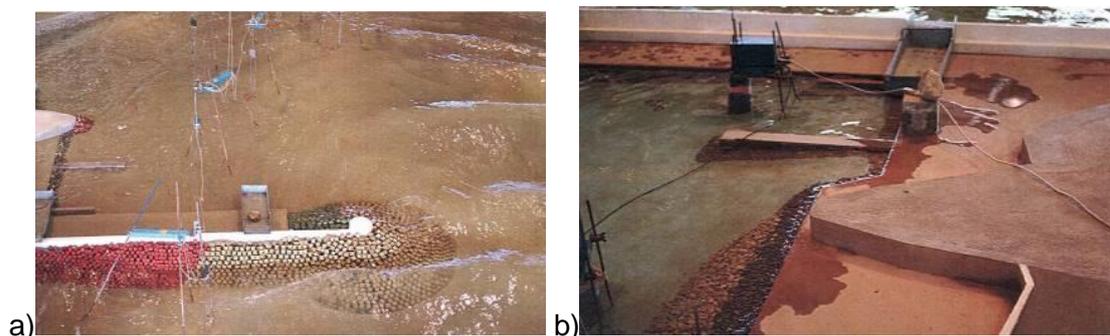


Fig. 3 – Ensaio a) Agitação; b) Sobrelevação, com inundação dos terraplenos

Com base nos registos de elevação da superfície livre obtidos em pontos determinados da bacia portuária é possível verificar se a proteção preconizada para a zona de estudo proporciona uma tranquilidade efetiva ou não, tendo em conta quer as direções de agitação marítima mais frequentes e adversas, quer os níveis de exigência dos equipamentos, das embarcações servidas e das operações próprias de um porto (Fig. 3a). Por outro lado a medição das sobrelevações em certas zonas de um porto, com recurso a limnómetros, Fig. 3b, permite avaliar os riscos de inundação dessas zonas e introduzir medidas corretoras como o alteamento/introdução de muros de proteção ou elevação dos terraplenos.

3.2 Ensaio de calibração/validação de modelos numéricos

3.2.1 Dispositivos de energia das ondas

Para estudar a funcionalidade hidráulica de uma central de energia das ondas do tipo coluna de água oscilante (CAO) integrada num quebra-mar vertical, foram realizados ensaios bidimensionais (2D) no LNEC (Fig. 4). O objetivo principal destes ensaios era duplo: estudar as características hidrodinâmicas da central e validar os modelos numéricos.

Os ensaios foram realizados num canal de aproximadamente 50 m de comprimento e 0.80 m de largura e profundidade máxima. Nesse canal, equipado com um gerador do tipo pistão com absorção ativa de reflexão, foi colocado um modelo físico à escala 1:35 de uma CAO com geometria simplificada, de 0.20 m de largura, e câmara interna aberta (Fig. 4). Foram realizados ensaios para uma profundidade fixa de 0.15 m junto à CAO e 0.46 m junto ao batedor. A agitação simulada constava de ondas de altura de 1.5 m no protótipo, com períodos variáveis entre 5 s e 13 s. Foram usadas sondas resistivas para determinar as características da agitação em frente ao gerador, em frente à estrutura e no interior da CAO. Com base nos resultados dos ensaios determinaram-se as curvas de amplificação da agitação na CAO, a fase e a variação da elevação da superfície no interior da CAO (*sloshing*).

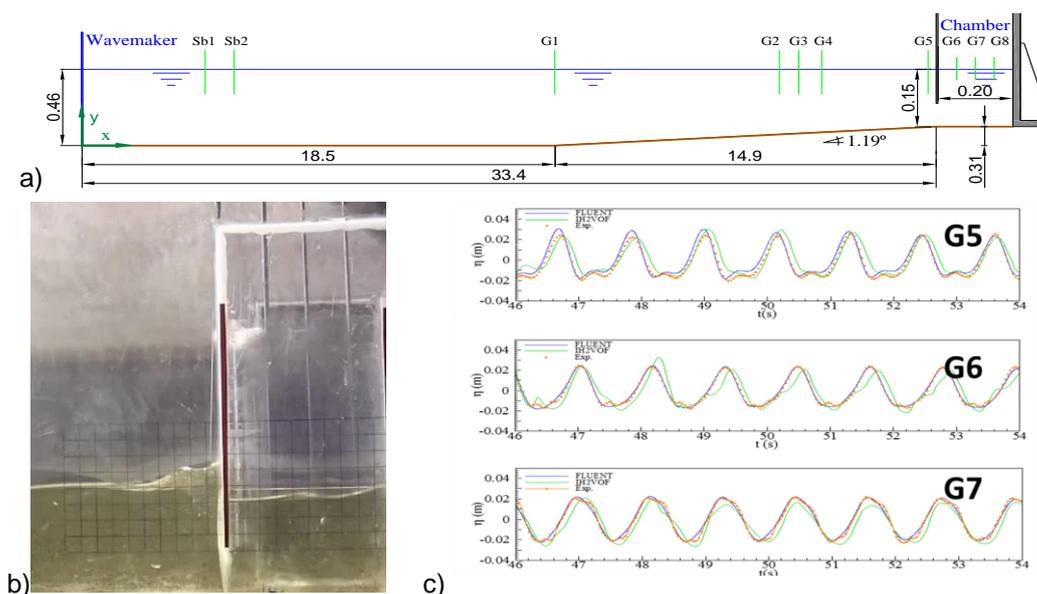


Fig. 4 – a) Esquema do canal, da CAO e das sondas; b) Modelo físico junto da câmara; c) Comparação de dados experimentais e numéricos (FLUENT e IH2VOF) em G5, G6, G7.

Os resultados foram usados para validar diferentes modelos numéricos: FLUENT (2006) e IH2VOF (Lara et al., 2011). Da comparação dos resultados dos modelos físico e numéricos foi possível verificar que ambos os modelos numéricos permitem a modelação da propagação de ondas, desde o baterador até ao interior da CAO, com uma boa concordância (Dias et al., 2015).

3.2.2 Navios

Com o objetivo de validar e calibrar um modelo numérico de comportamento de navios, realizou-se um conjunto de ensaios em modelo físico para a medição dos movimentos do navio sujeito a diferentes condições de agitação marítima incidente, Fig. 5a (Simão et al. 2016). Utilizou-se um acelerómetro, colocado no interior do navio, para registar as acelerações nas direções X, Y e Z, assim como os ângulos de guinada, cabeceio e balanço. Com esta informação é possível determinar os movimentos do navio segundo os seis graus de liberdade e relacioná-los com as características da agitação incidente. Foram ainda colocadas oito sondas resistivas em redor do navio que permitiram a caracterização do campo de ondas resultante da interação do navio com as ondas incidentes. Testou-se uma gama variada de alturas, períodos e direções de onda que incluem condições frequentes e condições extremas, com o objetivo de caracterizar um leque abrangente de resposta do navio.

Os ensaios em modelo físico decorreram num tanque com dimensões aproximadas de 20 m x 35 m utilizando um gerador de ondas com uma frente de onda de 6 m. O navio, cedido pelo Centro de Engenharia e Tecnologia Naval e Oceânica (CENTEC) do IST, tem comprimento de 3.45 m, boca de 0.54 m e peso total de 214.92 kg (incluindo o modelo, o equipamento de

medição e pesos colocados no seu interior). A escala do modelo foi de 1:50. As séries temporais medidas, Fig. 5b, foram analisadas e tratadas no domínio do tempo e da frequência. Identificaram-se fenómenos não lineares e efeitos de laboratório, como por exemplo, ondas estacionárias devidas a reflexões nas paredes do tanque. As funções de transferência, que relacionam a amplitude da agitação incidente com a amplitude de cada movimento, e cujo valor depende da frequência da agitação, foram estabelecidas e comparadas com as que são obtidas com o modelo numérico WAMIT, Fig. 5c.

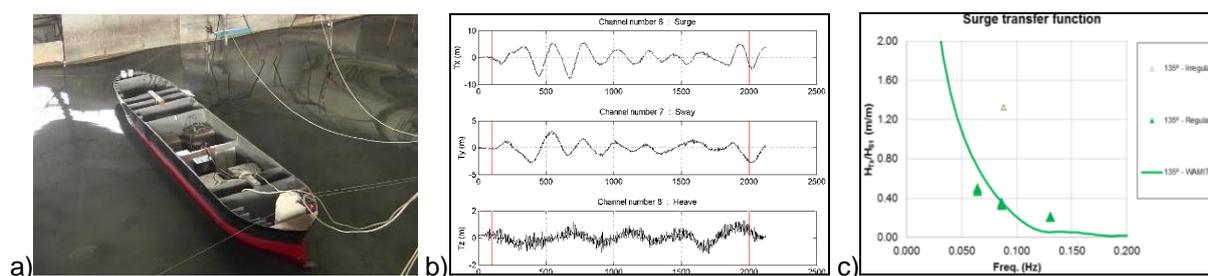


Fig. 5 – a) Modelo do navio e equipamento de medição; b) Séries temporais de movimentos do navio; c) Função de transferência para o modo de avanço (Simão et al. 2016).

4 RECENTES DESENVOLVIMENTOS

Tendo em conta a continuação da utilização desta ferramenta de interesse inquestionável, mantém-se o investimento físico e intelectual no sentido de aperfeiçoar técnicas e equipamentos de apoio a ensaios, de entre as quais se destacam: a implementação de técnicas de estereofotogrametria – utilizada no levantamento de envolventes e perfis de modelos de quebra-mares; a análise digital de imagens para comparação de fotografias obtidas no final de cada ensaio; e o desenvolvimento de *software* de deteção de movimentos de blocos durante a realização de ensaios.

Para além destes aspetos e no sentido de facilitar o acesso aos ensaios em modelo físico pelos seus utilizadores finais (projetistas, donos de obra, investigadores, etc.), tem vindo também a assistir-se ao desenvolvimento de técnicas de visualização remota dos ensaios, em tempo real, através de *image streaming* e de utilização de *software* de acesso remoto para visualização e partilha de dados obtidos nos ensaios.

4.1 Estereofotogrametria

Para avaliar o nível de dano ocorrido no manto resistente de um quebra-mar ao longo dos ensaios, recorre-se por vezes ao levantamento de perfis transversais da estrutura ensaiada. De modo a facilitar essa tarefa, tem vindo a testar-se recentemente, no LNEC, um método de levantamento da envolvente de taludes de quebra-mares baseado em estéreo-fotogrametria

(Fig. 6a), técnica que permite, partindo de pares de fotografias simultâneas de uma mesma cena, extrair a forma, dimensão e posição dos objetos nela contidos.

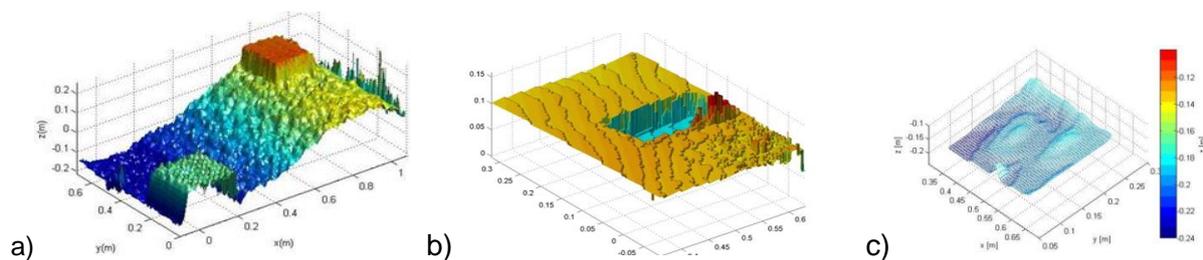


Fig. 6 – Envoltórios resultantes de levantamentos estereofotogramétricos: a) Ensaio bidimensional; a) Levantamento estéreo fotogramétrico em areia moldada (Pedro et al., 2016); b) Imagem e reconstrução da erosão em torno de recifes artificiais (Santos, 2015)

Partindo das representações tridimensionais antes e após cada ensaio, podem ser obtidos perfis para avaliar a progressão do dano através da determinação da área e volume erodido. O método utilizado no LNEC faz uso de um *software* (Ferreira, 2016) que permite corrigir a refração da luz na interface ar-água, sendo realizados levantamentos sem esvaziar o canal.

Esta técnica foi testada intensivamente em ensaios bidimensionais de quebra-mares de talude (Contente, 2012) e também, com resultados bastante satisfatórios, em ensaios tridimensionais, bem como em modelos físicos com fundos móveis (Fig. 6b,c).

4.2 Análise automática da estabilidade

Para a análise automática de quedas e movimentos de blocos do manto de estruturas foram desenvolvidos algoritmos de análise digital de imagens com vista à comparação entre fotografias obtidas no início e final de cada ensaio. Recentemente foram desenvolvidos no LNEC algoritmos de tratamento digital de imagens que permitem a comparação entre duas imagens obtidas no final de ensaios consecutivos. Estas técnicas são particularmente eficientes na detecção de quedas de blocos de enrocamento, as quais são difíceis de detetar visualmente.

A Fig. 7b representa a imagem resultante da comparação de fotos (Fig. 7a) obtidas no final de dois ensaios consecutivos. Os algoritmos permitem a avaliação quantitativa de áreas modificadas durante o ensaio. Contudo, não permitem ainda distinguir se essa área corresponde a erosão ou a acreção. Foi também desenvolvido um *software* (Courela et al., 2015) que permite a detecção de movimento dos blocos do manto, através da análise digital de imagens vídeo.



Fig. 7. a) Imagens obtidas no final de dois ensaios tridimensionais consecutivos; b) Imagem resultante da comparação das imagens (Rodrigues, 2014; Lemos et al. 2014)

4.3 Acesso remoto a ensaios em modelo físico

De modo a permitir que clientes e parceiros de investigação possam ter acesso remotamente a dados experimentais (vídeo e imagens), reduzindo custos e impactos ambientais associados a viagens de longa distância, e tornando também esses resultados experimentais mais acessíveis, foi desenvolvido, em parceria com a Deltares, no âmbito do consórcio HYDRALAB, a metodologia RADE (*Remote Access to Data and Experiments*), Capitão et al. (2014).

É assim objetivo desta metodologia permitir o acesso remoto aos ensaios realizados nos tanques e canais de ondas irregulares do pavilhão de hidráulica marítima do NPE, evitando deslocamentos físicos, por vezes dispendiosas, ao local onde decorrem os ensaios por parte dos clientes e equipas envolvidas nos estudos.

A metodologia RADE baseia-se na utilização de uma câmara de vídeo instalada sobre a cena de interesse no tanque ou canal. Essa câmara encontra-se ligada a um computador (tipicamente portátil) onde está instalado o *software* de captura de vídeo “Microsoft Expression Encoder” e onde as imagens de vídeo são descodificadas e enviadas para um servidor de rede (Fig. 8). Este servidor permite a difusão das imagens através da internet (em *streaming*) e um acesso direto ao vídeo, quase em tempo real, por parte dos clientes, bastando para isso aceder ao *link* que lhes é fornecido previamente. Para testar a metodologia, foram realizadas nove experiências envolvendo várias instituições interessadas nesta metodologia, tais como autoridades portuárias nacionais, universidades e empresas de consultoria, ambas nacionais e internacionais. Essas experiências, que consideraram diferentes características de rede e de computadores, permitiram sinalizar alguns aspetos da metodologia que requerem aperfeiçoamento, nomeadamente aspetos relacionados com a otimização da transmissão de vídeo, possibilitando, por um lado, a melhor qualidade de imagem e vídeo e, por outro, evitando a perda de fotogramas na transmissão.



Fig. 8. a) Visualização de um ensaio em tempo real através de *image streaming*; b) Acesso remoto para visualização da aquisição de dados durante os ensaios (Capitão et al. 2014)

5 DESAFIOS E OPORTUNIDADES DA MODELAÇÃO FÍSICA

Apesar da sua morte anunciada, aquando do advento das novas tecnologias de informação e do aumento vertiginoso das capacidades computacionais, a modelação física continua a ter um papel fundamental quer no apoio ao projeto de obras marítimas, quer na calibração e validação de modelos numéricos. Especificamente na Engenharia Costeira e Portuária, não se verificou qualquer abandono deste tipo de modelação e, pelo contrário, as solicitações são em número crescente. Os avanços tecnológicos permitiram a utilização de novas técnicas laboratoriais e métodos eficientes de processamento da informação recolhida.

Há, no entanto, um conjunto de novos desafios e oportunidades que se avizinham para a modelação física, face aos problemas que emergem das incontornáveis e irreversíveis alterações climáticas. Efetivamente, neste âmbito, prevê-se um aumento na frequência e magnitude dos eventos extremos (por exemplo, tempestades, inundações, sobrelevação do nível do mar de índole meteorológica) que afetará certamente corpos de água naturais (mares, lagos, estuários, rios), assim como, naturalmente, as zonas costeiras e portuárias. Em particular, o previsível aumento do nível médio das águas do mar torna estas zonas ainda mais vulneráveis a eventos extremos. Por outro lado, esses fenómenos que decorrem das alterações climáticas tem características muito complexas e de grande variabilidade espacial e temporal, pelo que a modelação física terá de desenvolver técnicas procedimentos que permitam a sua caracterização com precisão

A modelação física tem, por isso, de se adaptar para conseguir reproduzir estas novas situações decorrentes dos impactos das mudanças climáticas nos sistemas costeiros, estuarinos e fluviais, bem como ser um instrumento fiável para contribuir na definição de soluções “adaptativas” para aumentar a resiliência das zonas em estudo, i.e, testar potenciais estratégias de adaptação (HYDRALAB+, 2016). Neste sentido apontam-se alguns cenários de desenvolvimento para a modelação física:

- Experimentação e metodologias de ensaio que incorporem sequências de eventos de temporal, incluindo efeitos cumulativos: Embora se saiba a importância da simulação do comportamento conjunto dos parâmetros do projeto (altura e período de onda e nível de maré) esta dependência não é normalmente aplicada na modelação física. Além disso, os efeitos cumulativos que se observam por causa da sequência de tempestades podem levar a falhas progressivas de estruturas, devido a, por exemplo, instabilidades nas peças do manto, assim como galgamentos. É fundamental descrever corretamente a evolução dos temporais, de modo a poder modelar corretamente os danos e a sua progressão;
- Experimentação e metodologias de ensaio incorporando a subida do nível médio do mar: A inclusão da subida do nível do mar é fundamental, pelo que devem ser empregues métodos de conceção probabilísticos, com base em dados ambientais no planeamento e execução de estudos de modelos físicos. Atualmente, as estruturas costeiras/portuárias são concebidas em conformidade com as condições ambientais prevaletentes, mas devem igualmente incluir a “folga necessária” para fazer face as mudanças climáticas previstas.
- Técnicas de medição não intrusivas: É fundamental o desenvolvimento de técnicas que permitam uma avaliação dos fenómenos complexos, com características de grande variabilidade espacial e temporal que decorrem das alterações climáticas, sem interferir nos mesmos ou no próprio sistema modelado. Nesse sentido, por exemplo para a medição dos danos nos modelos físicos, métodos recorrendo a scanners, lasers terrestres e estereofotogrametria) começam a ser utilizados, uma vez que permitem efetuar um levantamento à distância, da superfície o modelo do quebra-mar com grande precisão.

Sugere-se assim as seguintes linhas de atuação (*guidelines*) para a modelação física de modo a se adaptar a estudos de impacto das mudanças climáticas: a) As instalações de modelação física devem ser adaptadas de modo a poderem acomodar simulações de eventos extremos, tais como tsunamis e/ou vagalhões (*freak/rogue waves*); b) *software* de geração de ondas deverá possibilitar a inclusão de novos estados de mar; c) Ensaios de séries de longa duração devem ser conduzidos com o objetivo de chegar a um novo grau de dano da estrutura e a formulações de previsão de falha relacionada com estados limites últimos ou de serviço, tendo em conta os dados climáticos previstos; d) As técnicas de análise de forças e pressões devem ser modificadas para incluir as consequências das mudanças climáticas.

Finalmente, uma linha de investigação que claramente terá de ser desenvolvida é a interdisciplinaridade dos estudos efetuados. Cada vez com mais frequência, o desenvolvimento de um novo projeto envolve uma panóplia alargada de estudos, incluindo os seus impactos

sociais, económicos e ambientais, que se podem influenciar e/ou condicionar mutuamente. Assim, afigura-se necessária a adaptação das instalações experimentais ao estudo da interação da biologia, morfodinâmica e hidrodinâmica com as estruturas costeiras e portuárias.

6 AGRADECIMENTOS

Agradece-se o financiamento concedido pelos projetos HYDRALAB+ e “M&M Ships PTDC/EMSTRA/5628/2014.

REFERÊNCIAS

- Capitão, R., Fortes, C.J.E.M., Lemos, R., Wellens, P. 2014. *The RADE Project* - Hydrolink, Nr. 2/2014.
- Contente, J. 2012. Desenvolvimento de uma Técnica Fotogramétrica, Aplicada à Evolução do Dano em Ensaios em Modelo Reduzido de Quebra-mares de Taludes. Estágio. FCT/UAlg.
- Courela, J.M., Carvalho, R.F., Lemos, R., Fortes, J., Leandro, J. 2015. Rubble-mound breakwater armour units displacement analysis by means of digital images processing methods in scale models. Proc. 2nd IWHS: Data Validation, IAHR, Coimbra, maio.
- Dias, J., Mendonça, A., Didier, E., Neves, M.G., Conde, J.M.P., 2015. Application of URANS-VOF models in hydrodynamic study of oscillating water column. Proc. SCACR2015, Florence, Italy.
- Ferreira, R. 2006. Reconstruction of a Submerged Model Breakwater and Interface Estimation. Master Thesis. Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa.
- FLUENT, 2006. User Guide FLUENT version 6.3.26. FLUENT Inc., USA.
- HYDRALAB+. 2016. WP6-NA5 Foresight studies: Experimental facilities for studies of climate change and adaptation Identification of datasets for impacts of climate change.
- Lara, J.L., Ruju, A., Losada, I.J., 2011. Reynolds averaged Navier–Stokes modelling of long waves induced by a transient wave group on a beach. Proc. Royal Society A 467, 1215–1242.
- Lemos, R., Fortes, J., Santos, J.A., Capitão, R., Silva, L.G. 2014. Contribuição Para Uma Automatização Da Visualização, Análise e Partilha de Ensaios em Modelo Físico Reduzido de Estruturas Marítimas” - 12.º Congresso da Água / 16.º ENASB / XVI SILUBESA, Lisboa, março
- Pedro, F., Lemos, R., Fortes, C.J.E.M., Santos, J.A. 2016. Application of stereo photogrammetry to physical scale model tests with mobile beds. 10º Cong. Nac. de Mecânica Experimental, LNEC, 12-14 de out.
- Reis, M.T., Silva, L.G., Neves, M.G., Lemos, R., Capitão, R., Fortes, C.J.E.M. 2014. Physical modelling as a fundamental tool for the design of harbours and maritime structures. PIANC book 2014, pp. 135-157.
- Rodrigues, J. 2014. Controlo Fotogramétrico da Condição de Estruturas Quebra-mar. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, dezembro.
- Santos, R. 2015. Modelação física da interação onda-estrutura em fundo arenoso. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, FCT, Universidade Nova de Lisboa.
- Simão, J., Pinheiro, L., Lesme, H., Hinistroza, M., Santos, J. A., Fortes, C.J.E.M. 2016. Ship movements' analysis in a scale model 10º Congresso Nacional de Mecânica Experimental, LNEC, 12-14 de out.