

CONTRIBUIÇÃO PARA UMA AUTOMATIZAÇÃO DA VISUALIZAÇÃO, ANÁLISE E PARTILHA DE ENSAIOS EM MODELO FÍSICO REDUZIDO DE ESTRUTURAS MARÍTIMAS

Rute LEMOS⁽¹⁾; Conceição J.E.M. FORTES⁽²⁾, Rui CAPITÃO⁽³⁾; João A. SANTOS⁽⁴⁾;
Luis G. SILVA⁽⁵⁾

Resumo

No presente trabalho, apresentam-se as metodologias e procedimentos em ensaios em modelo físico reduzido de estruturas marítimas, destinados a facilitar, agilizar e automatizar quer a análise do dano do manto protetor de quebra mares de taludes, provocado pela agitação marítima nela incidente, quer o acesso remoto aos ensaios, e à informação associada à realização destes, proporcionado a clientes/investigadores interessados.

Para a avaliação da evolução do dano na estrutura, as metodologias em desenvolvimento no LNEC incluem: a) a utilização de imagens consecutivas, obtidas ao longo de séries de ensaios em modelo físico, efetuando-se a comparação através de algoritmos em MATLAB o que possibilita, através da análise de diferenças entre fotografias obtidas em ensaios consecutivos, a identificação de áreas de movimentação e/ou quedas de blocos do manto da estrutura; b) a adoção de técnicas estéreo-fotogramétricas, para levantamento de perfis de secções de modelos físicos.

Para o acesso remoto dos ensaios realizados nas instalações experimentais do LNEC, a metodologia em desenvolvimento no LNEC passa pela visualização em tempo real, não só dos ensaios propriamente ditos mas também de outra informação associada aos mesmos, tais como parâmetros característicos, análises, etc. e tem como destinatários potenciais utilizadores dos ensaios (cliente, projetista, etc.).

Palavras-chave: comparação de fotografias, evolução do dano, fotogrametria, partilha e acesso remoto a dados de ensaios.

¹ Mestre em Engenharia Civil, Técnica Superior, LNEC, Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Tel. 218 443 427, Fax. 218 443 019 E-mail: rlemos@lnec.pt

² Doutora em Engenharia Mecânica, Investigadora, LNEC, Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Tel. 218 443 445, Fax. 218 443 019 E-mail: jfortes@lnec.pt

³ Doutor em Engenharia Civil, Investigador, LNEC, Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Tel. 218 443 688, Fax. 218 443 019 E-mail: rcapitao@lnec.pt

⁴ Doutor em Matemática, Professor Coordenador, ISEL, Departamento de Engenharia Civil, Rua Conselheiro Emídio Navarro, 1, Lisboa, Tel. 21 831 70 02, Fax 21 831 70 21, E-mail: jasantos@dec.isel.pt

⁵ Licenciado em Engenharia Civil, Técnico Superior, LNEC, Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Tel. 218 443 602, Fax. 218 443 019 E-mail: lgsilva@lnec.pt

1. INTRODUÇÃO

Apesar de a modelação numérica ter vindo a tornar-se uma ferramenta cada vez mais utilizada na engenharia portuária e costeira, subsistem ainda algumas limitações, como é o caso das associadas ao fenómeno da interação onda-estrutura, que só com a modelação física consegue produzir resultados fiáveis. Por exemplo, no dimensionamento de quebra-mares de taludes (obras marítimas muito usuais na costa portuguesa), e, mais concretamente, do seu manto resistente, é comum a realização de ensaios em modelo físico reduzido, para análise do comportamento hidráulico e/ou estrutural dos seus elementos constituintes. Tal análise pode resultar dos chamados ensaios de estabilidade: um modelo reduzido do quebra-mar de taludes a analisar é colocado num canal ou tanque e sujeito à ação de estados de agitação 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 protetor da estrutura em cada um dos troços da mesma. Estes estragos podem traduzir-se apenas na contagem dos elementos do manto (blocos artificiais e/ou enrocamento), que oscilam na sua posição devido à 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”), pela mesma causa. 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 está a realizar o ensaio. Para confirmação das quedas, é também usual o recurso a fotografias obtidas no início e no fim dos ensaios, cujo objetivo é de ilustrar apenas o curso de cada ensaio.

Outra forma de avaliar os estragos causados pela agitação marítima no manto protetor de modelos reduzidos de quebra-mares de taludes é medir a erosão causada num dado trecho da estrutura. Para isso recorre-se ao levantamento de perfis desse trecho obtidos com perfilhadores mecânicos. No entanto, o número de perfis levantados é geralmente muito pequeno, pois o processo é moroso. Para além disso, este tipo de levantamentos só é possível quando os mantos protetores são constituídos por enrocamento e não quando são compostos por blocos artificiais.

Do exposto, considera-se que a avaliação qualitativa e quantitativa de danos em mantos protetores de quebra-mares de taludes é, na maioria dos casos, um processo difícil, pouco automatizado, moroso e francamente dependente da experiência do técnico responsável pelo ensaio.

Assim, para tentar facilitar e acelerar as tarefas associadas à avaliação do dano em modelos reduzidos deste tipo de estruturas, estão em desenvolvimento no LNEC algumas metodologias baseadas em processamento digital de imagem. Estas metodologias consistem na análise comparativa de fotografias do manto no final de ensaios consecutivos e na comparação de perfis obtidos, recorrendo a técnicas de estéreo-fotogrametria (o que permite extrair um número ilimitado de perfis). Desta forma é possível avaliar e quantificar a evolução do dano ao longo dos ensaios em modelo reduzido, no que diz respeito a quedas de blocos do manto resistente.

Outra vertente que está também em desenvolvimento no LNEC relaciona-se com o acesso remoto à informação recolhida nos ensaios aí realizados com modelos reduzidos de quebra-mares de taludes.

Pretende-se que este acesso remoto seja um primeiro passo para a alteração das condições de exploração destas instalações experimentais. Nesse sentido, tem vindo a ser desenvolvido um conjunto de procedimentos para visualização remota em tempo real dos resultados dos ensaios (bidimensionais e tridimensionais), que inclui não só o acompanhamento à distância dos ensaios propriamente ditos, como também o acesso e a partilha, pelos participantes, da informação obtida nesses ensaios.

O presente trabalho é uma continuação do trabalho apresentado em [6], e descreve os desenvolvimentos recentes efetuados quer no domínio da avaliação do dano ao longo das séries de ensaios, quer no acesso generalizado à informação associada à realização dos ensaios por parte dos clientes e equipas técnicas envolvidas nos estudos. Assim, começa-se pela descrição das instalações experimentais, segue-se a descrição das metodologias de comparação de imagens e de reconstituição estéreo-fotogramétrica e, finalmente, descreve-se a metodologia de acesso remoto aos ensaios.

2. INSTALAÇÕES EXPERIMENTAIS

Todos os ensaios apresentados neste trabalho foram realizados no Pavilhão de Hidráulica Marítima do NPE, ocupado essencialmente por tanques e canais de ondas irregulares para ensaios em modelo físico (Figura 1 e Figura 2).



Figura 1. Instalações experimentais do NPE. Vista geral de 2 tanques de ondas irregulares.



Figura 2. Instalações experimentais do NPE. Vista geral de canais de ondas irregulares.

Os tanques e os canais destinam-se, respetivamente, à realização de ensaios tridimensionais de estabilidade, galgamentos e agitação e de ensaios bidimensionais de

estabilidade e galgamentos. Em qualquer um dos dois tipos, são reproduzidos o fundo e a totalidade ou parte do extensão da estrutura marítima a estudar (no caso dos ensaios bidimensionais reproduz-se apenas uma secção da estrutura).

No que diz respeito ao projeto e à operação, os ensaios bidimensionais têm a vantagem de serem mais rápidos e eficientes do que os tridimensionais, além de também permitirem a avaliação de soluções alternativas para a mesma estrutura de forma mais eficiente. A grande vantagem dos ensaios tridimensionais face aos bidimensionais é a capacidade de, nos primeiros, se poder avaliar a influência do ângulo de incidência da agitação nos modelos em estudo.

3. COMPARAÇÃO DE IMAGENS OBTIDAS NO FINAL DE ENSAIOS CONSECUTIVOS

Como já foi referido, nos ensaios de estabilidade (bidimensionais ou tridimensionais) avaliam-se as quedas e movimentos dos elementos do manto (blocos artificiais e/ou enrocamento) propostos para cada um dos trechos dessa estrutura, quando sujeitos à ação da agitação marítima incidente. Em geral, essa avaliação é efetuada apenas visualmente, apesar de permitir calcular a percentagem de quedas e movimentos em relação ao número total de blocos do trecho. Evidentemente que a contabilização do número de quedas e de movimentos de blocos artificiais ou de enrocamento está bastante dependente da experiência e sensibilidade do observador.

De modo a complementar este tipo de observação visual, foram desenvolvidos, no LNEC, algoritmos em MATLAB de tratamento de imagens, que permitem a comparação entre duas imagens obtidas no final de ensaios consecutivos. Esta técnica é particularmente eficiente na contabilização de quedas de blocos de enrocamento, as quais são especialmente difíceis de detetar visualmente.

Na Figura 3 apresentam-se duas imagens obtidas antes e após um ensaio bidimensional, assim como a sua comparação obtida com o referido algoritmo. A comparação (Figura 3b) permite verificar que houve um deslocamento de enrocamentos, o qual, visualmente, é extremamente difícil de detetar. Contudo, o algoritmo não permite ainda distinguir se esse deslocamento é compatível com acreção ou erosão.

Notar que neste tipo de ensaios houve que garantir condições de luminosidade controladas através da colocação de projetores e de uma proteção do modelo à luz direta.

Para os ensaios tridimensionais, apresentam-se na Figura 4 as imagens obtidas antes e após o ensaio, bem como a sua comparação através da aplicação de dois algoritmos elaborados em MATLAB.

A aplicação de dois algoritmos diferentes permitiu identificar com mais precisão os locais onde ocorreram os estragos. No primeiro algoritmo (Figura 4 a)) as áreas comuns entre as duas fotografias estão apresentadas em tons escuros, e as áreas onde são identificadas diferenças entre imagens estão representadas em tons claros.

O segundo algoritmo faz a sobreposição das duas imagens, sendo as áreas comuns entre as duas imagens representadas em tons de cinzento e as áreas de diferenças representadas em tons de verde (inicial) e rosa (final). Qualquer um dos algoritmos utilizados no tratamento das imagens, baseia-se no cálculo matricial dos píxeis das fotografias utilizando funções que permitem calcular diferenças.

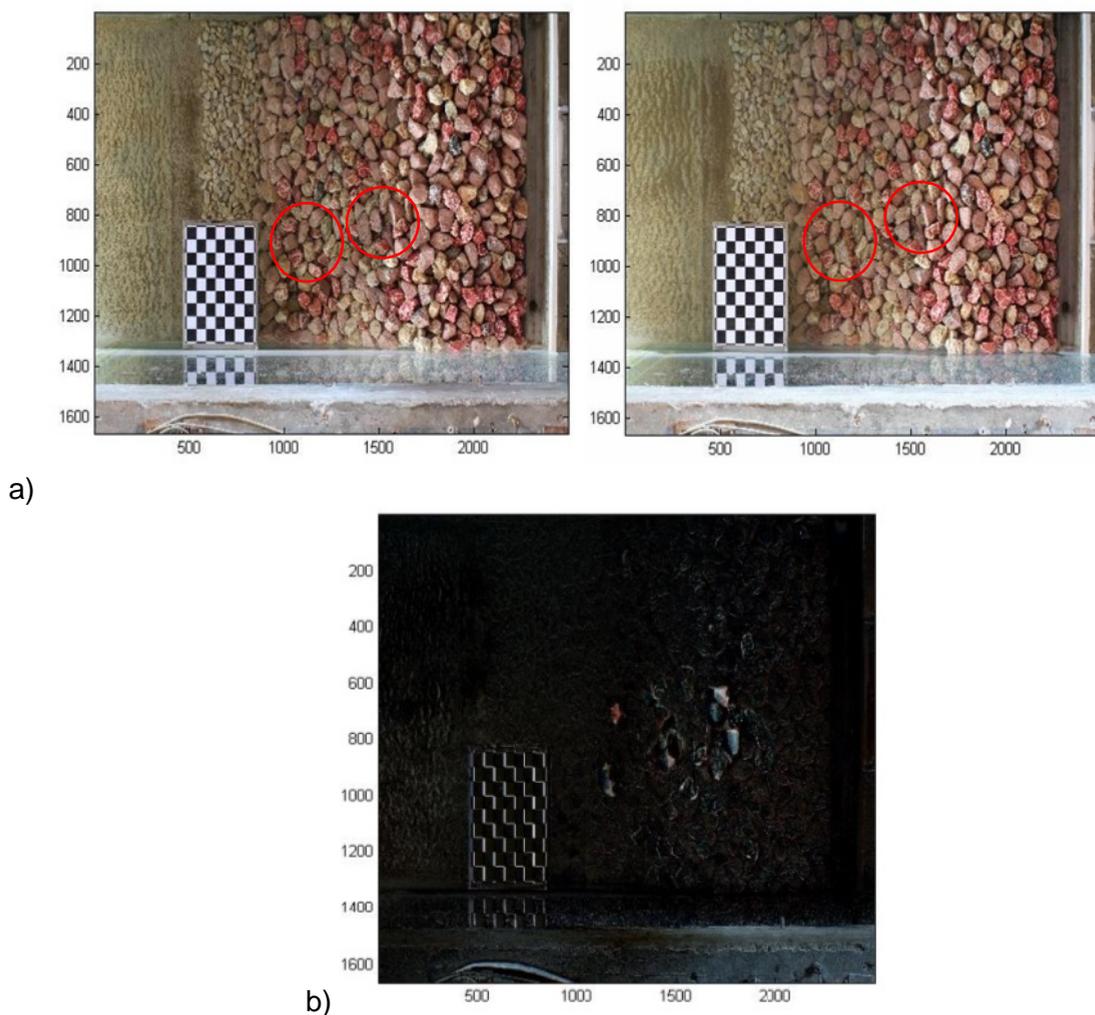


Figura 3. a) Imagens obtidas no final de dois ensaios consecutivos. b) Imagem resultante do algoritmo de comparação das imagens.

Estes algoritmos apresentam um conjunto de diferenças que são devidas à variação da luminosidade ao longo do dia e aos reflexos da água nos blocos do manto resistente, os quais variam de ensaio para ensaio, dependendo de estes estarem mais ou menos secos (ou molhados). Este comportamento é ilustrado na Figura 4 b), onde toda a zona do coroamento surge demarcada a verde (situação inicial), sem que se identifique a situação final, a rosa, pelo facto de no decurso do ensaio não ter havido movimentos, mas apenas mudanças de luminosidade.

Este inconveniente será corrigido em breve, melhorando o algoritmo de comparação de imagens, de modo a só serem identificadas diferenças de imagem consideradas significativas. Pretende-se, ainda a identificação de pontos notáveis nas duas fotografias (colocação de alvos fixos) com vista a promover a correta sobreposição de duas fotografias que podem não retratar exatamente a mesma área se a câmara fotográfica for retirada do local.

A aquisição das fotografias requer a colocação de um tripé ou outro tipo de estrutura fixa que assegure que a posição e orientação da câmara não se alteram entre fotografias

consecutivas. Por outro lado, a distância focal e a abertura da objetiva, assim como a velocidade de obturação e a sensibilidade ISO da câmara deverão, todos eles, manter-se inalterados.

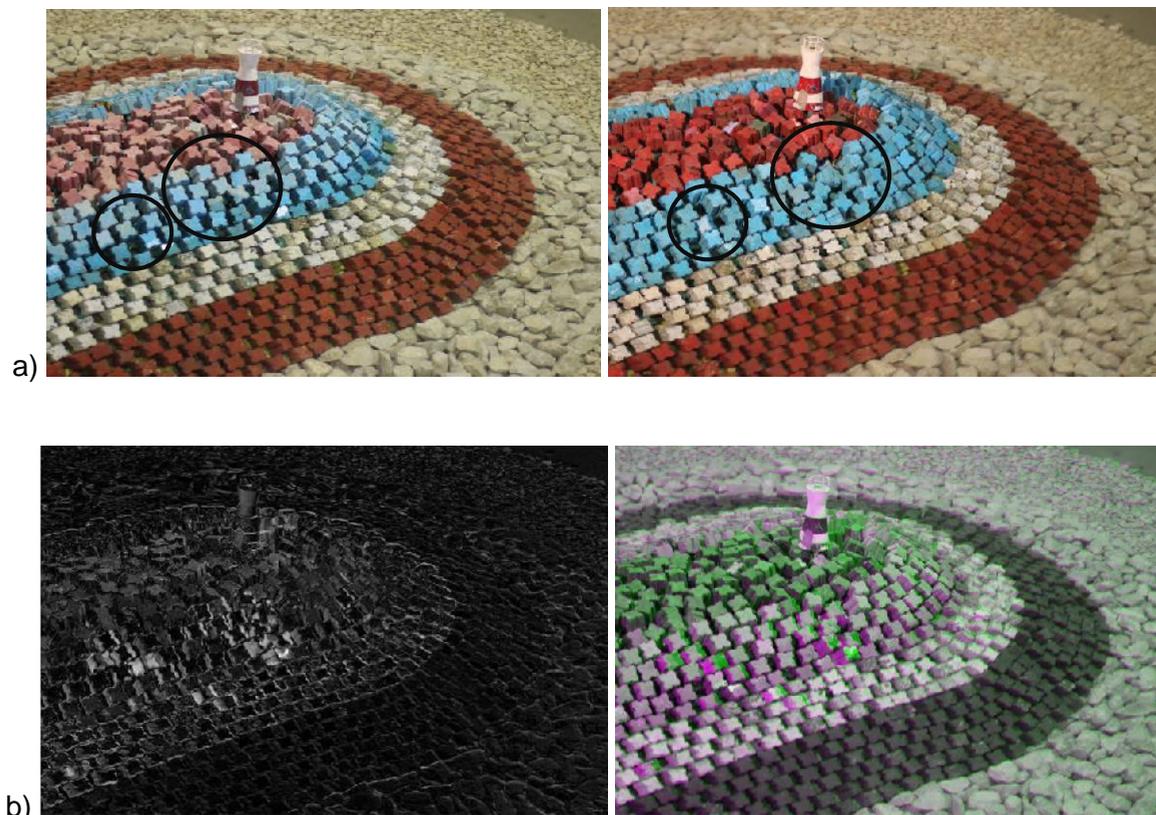


Figura 4. a) Imagens obtidas no final de dois ensaios tridimensionais consecutivos. b) Imagens resultantes da comparação das imagens usando dois algoritmos diferentes.

4. A FOTOGRAMETRIA APLICADA À AVALIAÇÃO DA ÁREA ERODIDA EM MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS DE QUEBRA-MARES

4.1 Metodologia

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 - técnica que permite, partindo de pares de fotografias simultâneas de uma mesma cena, extrair a forma, dimensão e posição dos objetos nela contidas [1].

A estéreo-fotogrametria baseia-se no mesmo princípio da visão binocular, onde a imagem captada por cada olho, individualmente, é transmitida ao cérebro, o qual deverá ser capaz de fundir as duas imagens, ligeiramente diferentes devido à diferente perspetiva, criando uma representação 3D da cena observada, resultando daí a chamada a visão estéreo ou estéreopsia.

Assim, este processo permite obter a representação tridimensional da realidade (ou cena) a partir de pares de fotografias dessa mesma realidade, tiradas de localizações ligeiramente

afastadas (Figura 5). Partindo das representações tridimensionais da realidade (também designadas por reconstruções da cena observada) antes e após os ensaios, podem ser determinados o volume erodido, para a totalidade da região afetada, ou a área erodida em qualquer dos perfis facilmente extraíveis das reconstruções efetuadas.

Esta técnica foi já testada de um modo intensivo, [2] e [3], em ensaios bidimensionais de quebra-mares de taludes, estando atualmente a ser transposta para ensaios tridimensionais.

O método utilizado no LNEC faz uso de um *software* [1] que permite corrigir a refração da luz na interface ar-água, admitindo realizar os levantamentos sem que seja necessário esvaziar o canal. O equipamento utilizado consiste em duas câmaras fotográficas montadas numa configuração fixa e um sistema de disparo que permite a obturação simultânea de duas fotografias (uma em cada câmara).



Figura 5. Equipamento fotográfico utilizado e exemplo de um par fotogramétrico obtido durante um levantamento.

Embora a distância entre as câmaras possa variar, esta terá que obedecer a um compromisso entre uma distância generosa (o que facilita a reconstrução tridimensional) e uma distância a partir da qual já se estarão a fotografar faces diferentes do mesmo objeto, tornando a reconstrução impossível. No presente estudo, todos os levantamentos descritos foram realizados com uma distância fixa de 16 cm entre os centros das lentes das câmaras.

Foi utilizado o referido *software* [1], que consiste em duas aplicações distintas, referentes à calibração das câmaras e à reconstrução tridimensional das superfícies, o que que permitiu a reconstrução tridimensional usando pares de imagens de uma mesma cena, obtidas apenas com um pequeno desfasamento entre si.

4.2 Testes realizados

4.2.1 Ensaios bidimensionais

A aplicação desta nova metodologia foi inicialmente efetuada em ensaios bidimensionais em canal com estruturas em talude de enrocamento. O talude do perfil do quebra-mar ensaiado foi dividido em cinco perfis afastados de 10 cm entre si (Figura 6), de modo a obter-se uma boa caracterização do dano ocorrido no talude.

Foi ensaiado um nível de maré, de +3.1 m (ZH), três períodos de pico ($T_p=8$ s, $T_p=12$ s e $T_p=15$ s) e três alturas de onda (2.5 m, 3.0 m e 3.5 m).

Para cada ensaio, associado a cada um dos períodos de pico, foi realizado inicialmente um levantamento do perfil não danificado, a que se seguiu um conjunto de levantamentos ao longo da série de ensaios.



Figura 6. Localização dos perfis P1 a P5.

A Figura 7 ilustra os levantamentos realizados durante o ensaio correspondente ao período de pico $T_p = 8$ s. No levantamento final foi colocado um tijolo de medidas bem conhecidas (30x20x11) cm no topo do talude de modo a aferir a fiabilidade das dimensões obtidas no levantamento.

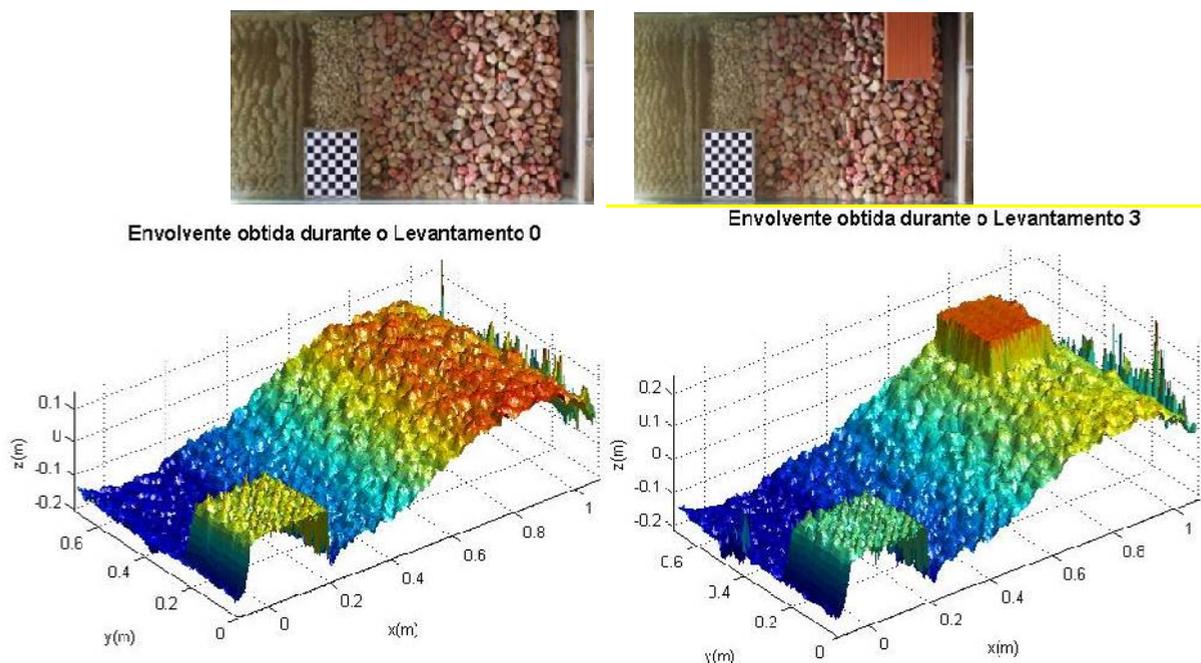


Figura 7. Levantamento inicial e final da envolvente do quebra-mar.

Não tendo ocorrido danos significativos, o perfil manteve-se praticamente inalterado ao longo dos ensaios. Foi, no entanto, possível verificar que as dimensões do tijolo haviam sido levantadas com um erro de 2.0 mm, segundo o eixo horizontal (x), e de 2.4 mm, segundo ao eixo vertical (z). A Figura 8 ilustra a evolução e a diferença de cotas no perfil P5 resultante da colocação de um tijolo no final da série de ensaios.

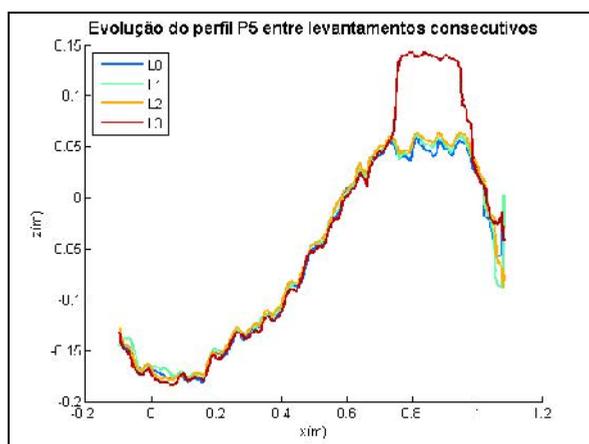


Figura 8. Evolução do perfil P5 entre levantamentos consecutivos.

4.2.2 Ensaios tridimensionais

Com vista a implementar esta técnica fotogramétrica em ensaios em modelos tridimensionais, foram realizados testes num tanque de ondas irregulares com 23 m de largura por 40 m de comprimento, tendo as câmaras sido instaladas sobre o modelo e a aquisição das imagens efetuada com o auxílio de dois computadores portáteis (Figura 9).

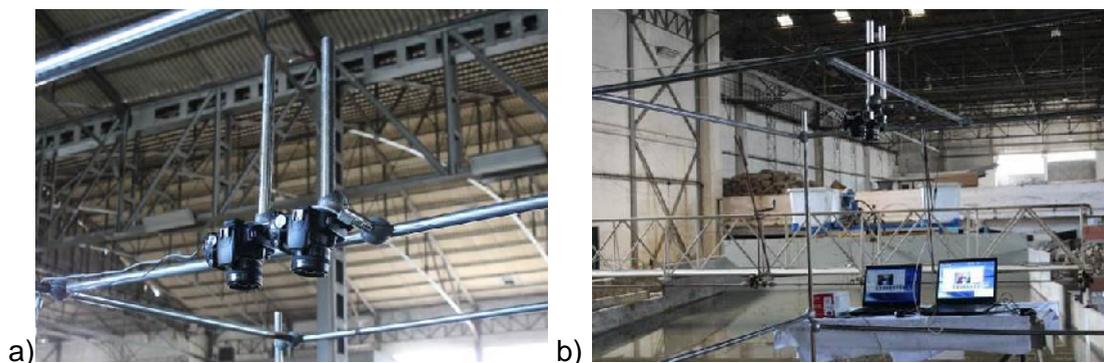


Figura 9. a) Vista do modelo tridimensional b) Instalação das câmaras sobre o modelo e aquisição das imagens através de dois computadores portáteis.

Os levantamentos efetuados contemplaram a zona da cabeça do quebra-mar (Figura 10 a)). A Figura 10 apresenta as envolventes obtidas a partir de dois levantamentos realizados com o modelo parcialmente submerso e sem água.

Durante a realização do levantamento com o modelo parcialmente submerso, o alvo flutuante sofreu deslocamentos, resultando numa reconstrução de pouca qualidade. Apesar

da pouca definição dos perfis levantados, a geometria geral do modelo surge bem representada nas situações com e sem água (Figura 11).

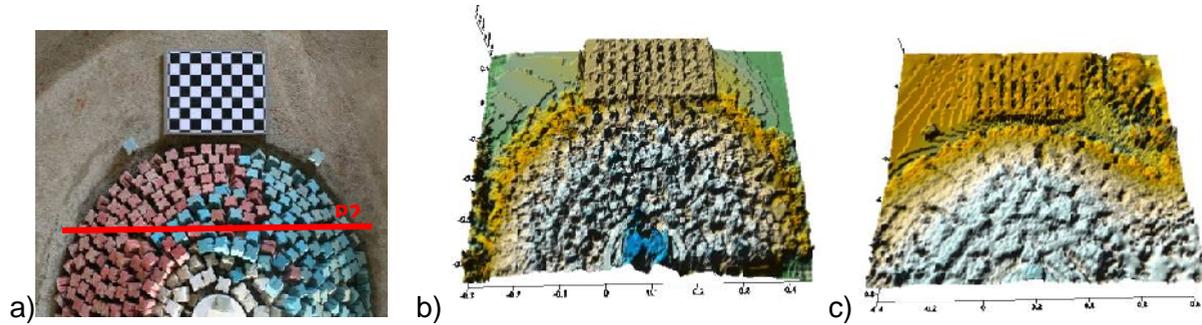


Figura 10. Envolvente obtida a partir de um levantamento realizado com o modelo parcialmente submerso (b) e sem água (c).

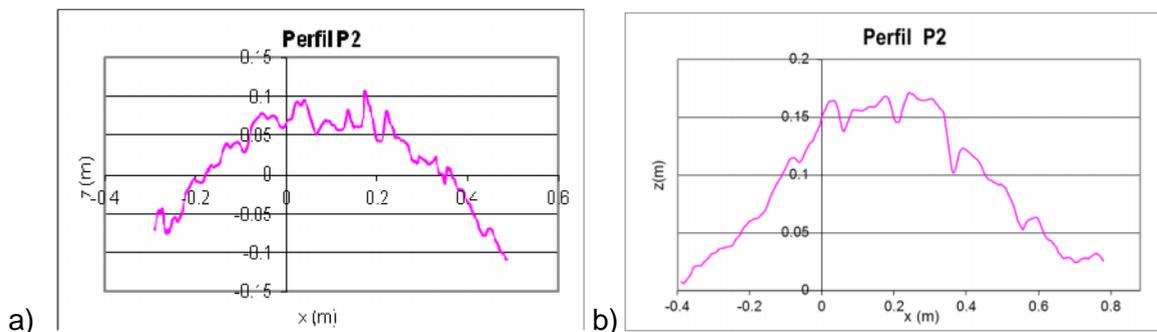


Figura 11. Perfis obtidos a partir de um levantamento realizado com o modelo parcialmente submerso (a) e sem água (b).

5 ACESSO REMOTO

5.1 Visualização remota de imagens

O objetivo desta metodologia é permitir o acesso remoto aos ensaios realizados nos tanques e canais de ondas irregulares do pavilhão de hidráulica marítima do NPE, evitando assim deslocamentos, por vezes dispendiosos, por parte dos clientes e equipas envolvidas nos estudos.

Esta metodologia é baseada 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*” (Figura 12) e onde as imagens de vídeo são decodificadas e enviadas para um servidor de rede (Figura 12). Este servidor permite a difusão das imagens através da internet (em *streaming*), permitindo um acesso direto, quase em tempo real, ao vídeo por parte dos clientes, bastando para isso aceder ao *link* que lhes é fornecido previamente.

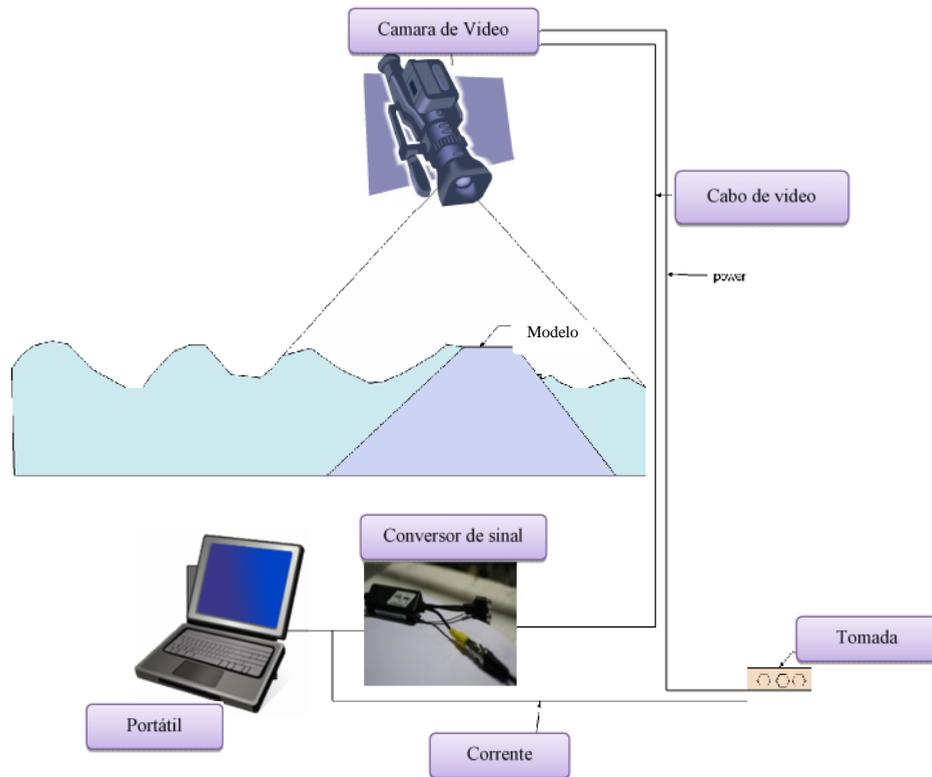


Figura 12. Esquema de montagem do equipamento utilizado para o acesso remoto às instalações de ensaio do NPE.

Este trabalho envolveu a colaboração da FCCN (Fundação para a Computação Científica Nacional – <http://www.fccn.pt>). A Figura 13 ilustra o equipamento utilizado e a Figura 14 mostra a transmissão do ensaio.

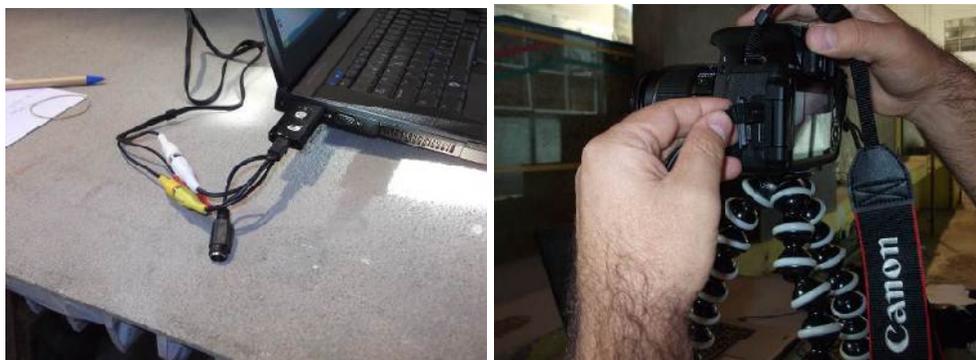


Figura 13. Equipamento utilizado.



Figura 14. Vista do modelo (a) e software “Microsoft Expression Encoder” utilizado na transmissão remota de imagens (b).

O cliente poderá aceder ao endereço <http://wms.fccn.pt/lneccanal> e visualizar as imagens em tempo real utilizando uma das seguintes aplicações:

- *Windows media player*, através do *browser* Internet Explorer, ao utilizar o SO MS Windows;
- *Quicktime player*, através do *browser* Safari, ao utilizar o SO MacOSX.

Até agora foram efetuados testes da qualidade das imagens enviadas para o servidor, para assegurar que a velocidade da rede ronda 100 Mbps (velocidade recomendada). Foram convidados potenciais utilizadores, localizados tanto dentro como fora do LNEC: em Portugal Continental, Açores, Holanda, Brasil, Angola, Noruega, Dinamarca e Reino Unido – ver localizações na Figura 15. Estes utilizadores participaram em testes, durante os quais se verificou que as transmissões decorriam com boa qualidade de imagem, Figura 16, sem interrupções nem congelamento de imagens, apesar de se verificar um atraso na transmissão dos dados que variou entre 20 segundos e 2 minutos, que depende essencialmente da velocidade da ligação do utilizador à Internet [4].



Figura 15. Localização dos participantes nas experiências de acesso remoto às instalações experimentais do LNEC.



Figura 16. Visualização, por parte dos participantes, de uma experiência levada a cabo no canal de ondas irregulares COI1.

5.2 Visualização e partilha de dados entre participantes

Esta metodologia foi aplicada com vista a permitir a visualização da aquisição de dados em tempo real, de modo a evitar deslocações dispendiosas do cliente até às instalações de ensaio do LNEC. Pode ser conjugada com a metodologia de transmissão vídeo em tempo real, descrita no ponto anterior.

O software utilizado na experiência de visualização de dados através de acesso remoto, foi o *TeamViewer V7.0* - versão completa. Este é um *software* comercial que permite realizar reuniões/apresentações de até 25 participantes através do estabelecimento da ligação a qualquer computador ou servidor em todo o mundo. Permite ainda o acesso remoto total a qualquer computador, mediante o fornecimento de uma *password*.

Após o envio do convite por e-mail a todos os participantes, basta cada um dos convidados aceder ao *link* fornecido, o qual o conduz à sessão sem necessidade de instalação de qualquer *software*. Todos os participantes que se juntem à sessão, veem aberto no seu *desktop* o painel da sessão (Figura 17) e têm acesso imediato (condicionado pelas permissões concedidas) ao *desktop* do apresentador, permitindo visualizar graficamente, e em tempo real, a aquisição dos dados (Figura 18).

Ao longo da sessão, o apresentador tem a possibilidade de personalizar a reunião, podendo:

- Definir as aplicações a partilhar durante a sessão;
- Ocultar ou mostrar o seu ambiente de trabalho;
- Ocultar ou mostrar o painel da reunião;
- Selecionar ou ocultar participantes.

Pode ainda fazer uso de algumas ferramentas de grande utilidade, como:

- Partilhar ficheiros através da funcionalidade “*file box*”;
- Gravar a sessão;
- Iniciar uma teleconferência;
- Mostrar vídeos;
- Utilizar a funcionalidade “*whiteboard*” para tomar notas;

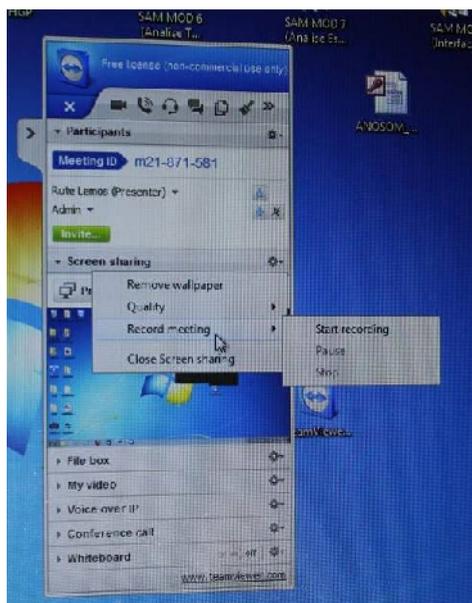


Figura 17. Painel da sessão.

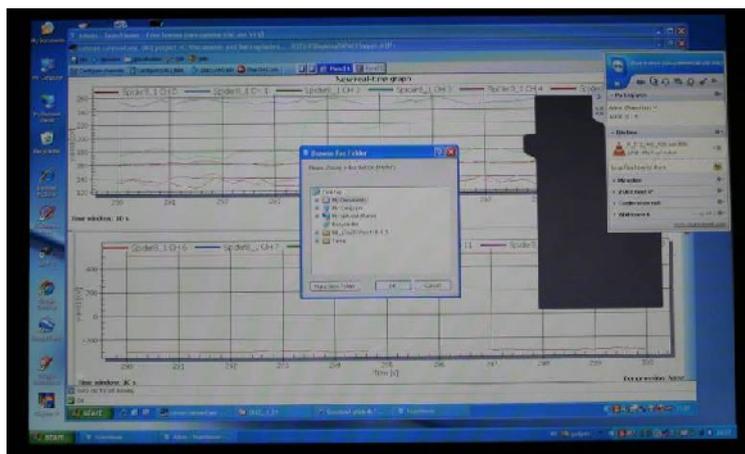


Figura 18. Janela visualizada pelos participantes, correspondente ao desktop do apresentador durante a aquisição de dados e partilha dos dados adquiridos.

Os testes realizados com duas instituições localizadas em Portugal Continental [5] revelaram boa qualidade de imagem e ausência de atrasos na transmissão de dados. No entanto, verificou-se que a largura de banda da rede poderá influenciar a qualidade da transmissão caso a reunião incluía muitos participantes.

6. CONCLUSÕES

De modo a modernizar e a agilizar o modelo como se efetua a exploração de ensaios em modelo físico, têm vindo a ser desenvolvidas no LNEC novas ferramentas que incluem quer o aperfeiçoamento dos levantamentos da envolvente do manto protetor dos modelos de quebra-mares de taludes, quer a melhoria da exatidão do cálculo da evolução do dano ao longo dos ensaios, quer, também, a facilitação do acesso remoto de clientes e investigadores interessados à realização de ensaios e à informação a estes associada.

Assim, no âmbito deste trabalho aperfeiçoou-se uma técnica de levantamento fotogramétrico, que permite obter superfícies e perfis de taludes de quebra-mares durante os ensaios em modelo físico reduzido, que, por sua vez, permite obter a área erodida através de comparação de perfis. Esta técnica mostrou-se muito capaz e eficaz quando aplicada a modelos bidimensionais, tendo sido obtidos perfis de grande qualidade. Está presentemente está em desenvolvimento a sua generalização a modelos tridimensionais, embora, desde já, as aplicações já efetuadas a modelos tridimensionais tenham permitido mostrar que a eficácia do método depende essencialmente de um sistema eficaz de imobilização do alvo, o que está a ser atualmente implementado. Por outro lado, a utilização de imagens do final de ensaios consecutivos mostrou potencialidade, embora o algoritmo de comparação de imagens requiera melhoramentos substanciais, de modo a eliminar as diferenças de luminosidade que forçosamente ocorrem entre fotografias de final de ensaio sucessivas. Há também claramente que investir no modo de quantificar as áreas de erosão e acreção no final de cada ensaio.

Finalmente apresentou-se um conjunto de procedimentos que permitem a visualização remota, por parte de clientes e investigadores interessados, de imagens em tempo real dos ensaios em curso nas instalações do LNEC, assim como do acesso aos dados, em modo partilhado, desses ensaios, em tempo quase real.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do projeto “HYDRALAB IV – *More than water; dealing with the complex interaction of water with environmental elements, sediment, structures and ice*. Contract no. 261520” e do seu sub-projeto “RADE - *Remote Access to Data and Experiments*”.

REFERÊNCIAS

- [1] Ferreira, R., Costeira, J.P., Silvestre, C., Sousa, I. e Santos, J.A. (2006). “Using stereo image reconstruction to survey scale models of rubble-mound structures”. 1st CoastLab 2006 - International Conference on the application of physical modelling to port and coastal protection. Porto, Portugal, pp.107-116.
- [2] Lemos, R. (2010). *Verificação de fórmulas para a evolução da erosão em taludes de quebra mares*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa
- [3] Contente, J. (2012). *Desenvolvimento de uma Técnica Fotogramétrica, Aplicada à Evolução do Dano em Ensaios em Modelo Reduzido de Quebra-mares de Taludes*. Estágio de final de curso. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa.
- [4] Lemos, R., Fortes, C.J.E.M., Capitão, R. (2012). *Remote Access to Experimental Facilities. RADE – Fourth and Fifth Experiences on Remote Access*. HYDRALAB IV report.
- [5] Lemos, R., Fortes, C.J.E.M., Capitão, R. (2012). *RADE – First Experiences on Data Sharing Using Remote Access*. HYDRALAB IV report.
- [6] Lemos, R.; Fortes, C.J.E.M.; Santos, J.A.; Capitão, R.; Abecasis Jalles, B.M. (2013). *Novas ferramentas para exploração de ensaios em modelo físico*. 8ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. LNEC, 10 e 11 de outubro.