

NOVAS FERRAMENTAS PARA EXPLORAÇÃO DE ENSAIOS EM MODELO FÍSICO

Rute Lemos¹, Conceição J.E.M. Fortes¹, João A. Santos², Rui Capitão¹, Bernardo Jalles³

⁽¹⁾Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC
Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Tel. 218 443 427, Fax. 218 443 019
E-mail: rlemos@lnec.pt, jfortes@lnec.pt, rcapitao@lnec.pt

⁽²⁾Departamento de Engenharia Civil, ISEL
Rua Conselheiro Emídio Navarro, 1, Lisboa
E-mail: jasantos@dec.isel.pt

⁽³⁾Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNL
Quinta da Torre, 2829-516 Caparica
E-mail: bmajalles@gmail.com

Resumo

Embora os procedimentos para o projeto e operação de ensaios com modelo físico reduzido de estruturas marítimas estejam já consolidados há muito tempo, continuam a existir a possibilidade e a necessidade de aperfeiçoamento de procedimentos relacionados com a exploração desta fonte de informação sobre a resposta destas estruturas à agitação marítima nelas incidente.

No presente trabalho, descrevem-se metodologias recentes, implementadas no LNEC, para melhorar os procedimentos de caracterização da envolvente do manto protetor de quebra-mares de taludes - dando-lhes um caráter mais quantitativo – bem como para facilitar o acesso generalizado a outro tipo de informação associada à realização dos ensaios.

No que diz respeito à agilização do processo de levantamento de perfis de secções de modelos físicos, tem vindo recentemente a ser testada a aplicação de um método fotogramétrico, descrito detalhadamente nesta comunicação. Será também assunto desta comunicação, a avaliação da evolução do dano, recorrendo à comparação de imagens consecutivas obtidas ao longo de séries de ensaios em modelo físico.

Por outro lado, para facilitar o acesso aos chamados ensaios bidimensionais e tridimensionais com modelo físico, será apresentada uma técnica de visualização em tempo real não só dos ensaios propriamente ditos mas também de outra informação associada aos mesmos através de ferramentas de reunião *on-line* com os potenciais utilizadores dos ensaios (cliente, projetista, etc.).

1. INTRODUÇÃO

A confirmação da eficácia do dimensionamento prévio do manto resistente de um quebra-mar de taludes (obras marítimas usuais na costa portuguesa) é conseguida através de ensaios em modelo físico reduzido, onde é feita a análise do comportamento hidráulico e/ou estrutural dos seus elementos constituintes.

Nos chamados ensaios de estabilidade, avaliam-se as quedas e movimentos dos elementos do manto (blocos artificiais e/ou enrocamento) propostos para cada um dos troços dessa estrutura, quando sujeitos à ação da agitação marítima incidente. Em geral, essa avaliação é efetuada apenas visualmente, sendo calculada a percentagem de quedas e movimentos em relação ao número total de blocos. Porém, dada a necessidade de levantamento de perfis de um trecho da estrutura em estudo com recurso a perfiladores, o número de perfis levantados é

muito reduzido, o que torna todo o processo muito moroso. Além disso, levantamentos com recurso a perfiladores não são aplicáveis quando o manto da estrutura é constituído por blocos artificiais (uma das grandes limitações deste tipo de instrumentos).

No presente trabalho pretende-se descrever os procedimentos já utilizados no LNEC para exploração de ensaios com modelo físico de quebra-mares de taludes recorrendo a técnicas de estéreo-fotogrametria (o que permite extrair um número ilimitado de perfis) e à análise comparativa de fotografias do manto no final de ensaios consecutivos. 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.

Finalmente, a outra vertente do trabalho relaciona-se com o acesso facilitado por parte de clientes, projetistas e promotores às instalações experimentais e, mais concretamente, à visualização dos ensaios a decorrer. Nesse sentido tem vindo a ser desenvolvido um conjunto de procedimentos para visualização em tempo real dos resultados dos ensaios (bidimensionais e tridimensionais), que inclui não só o acompanhamento dos ensaios propriamente ditos como também o acesso e a partilha dos dados obtidos nesses ensaios.

Nos pontos seguintes desta comunicação serão descritas as instalações de experimentais do Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas (NPE), descrevendo-se de seguida as metodologias que, recentemente, têm vindo a ser implementadas no NPE, tanto no domínio da avaliação do dano ao longo das séries de ensaios, como no acesso generalizado à informação associada à realização dos ensaios por parte dos clientes e equipas técnicas envolvidas nos estudos.

2. INSTALAÇÕES EXPERIMENTAIS

O NPE dispõe de um pavilhão de ensaios com uma área de 6 500 m², ocupado essencialmente por tanques e canais de ondas irregulares para ensaios em modelo físico (Figuras 1 e 2).

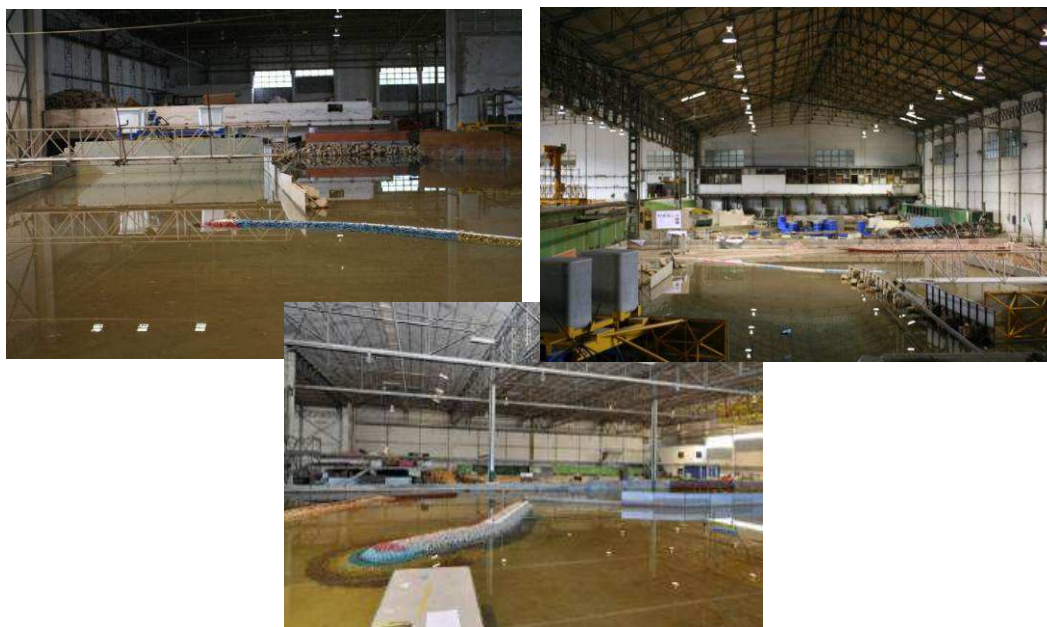


Figura 1 - Instalações experimentais do NPE. Vista geral de alguns dos tanques de ondas irregulares.



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

Nos tanques realizam-se os chamados ensaios tridimensionais de estabilidade e de agitação, enquanto nos canais se realizam ensaios bidimensionais de estabilidade e galgamentos. Em qualquer dos dois tipos de ensaios, são reproduzidos o fundo e a totalidade ou parte do extensão da estrutura marítima a estudar (no caso dos ensaios bidimensionais reproduz-se apenas um trecho da estrutura).

A diferença principal entre os ensaios tridimensionais e bidimensionais é a capacidade de nos primeiros se poder avaliar a influência do ângulo de incidência da agitação nos modelos em estudo.

Com os ensaios de agitação pretende-se caracterizar a elevação da superfície livre em vários pontos ao longo da zona onde a agitação marítima se propaga. Utilizam-se sondas resistivas para obter a série temporal da elevação da superfície livre nos pontos de interesse. Da análise de cada uma dessas séries temporais podem obter-se os espectros da elevação da superfície livre em cada um daqueles pontos ou caracterizar a distribuição de alturas de onda nas séries temporais medidas.

Nos ensaios de galgamentos avalia-se o volume de água que passa sobre um trecho do coroamento da estrutura, de comprimento conhecido, no intervalo de tempo correspondente à duração do ensaio. Para tal coloca-se um dispositivo que recolhe a água galgada podendo medir-se a variação de volume acumulado de água no reservatório ao longo do ensaio ou apenas o volume no final do ensaio. Um dos resultados deste ensaio é o caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento.

No caso de ensaios de estabilidade, para várias condições de agitação marítima incidente, é avaliada a evolução do dano na estrutura, i.e., é avaliada a transformação que se vai operando nos diferentes elementos constituintes do perfil da estrutura (berma, núcleo, etc...). Mais concretamente, para cada troço em que se divide essa estrutura, determinam-se o número de blocos artificiais ou de enrocamento que se movimentaram ou deslocaram durante cada ensaio. Em geral, essa avaliação é efetuada de forma visual, o que, no caso de blocos artificiais é relativamente fácil, mas que no caso de estruturas de enrocamento não é. Nestas últimas, recorre-se a perfiladores de fundo que efetuam o levantamento da zona a estudar. O número de levantamentos a realizar é sempre limitado, uma vez que o procedimento é moroso.

3. A FOTOGRAMETRIA APLICADA À AVALIAÇÃO DO DANO EM MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS DE QUEBRA-MARES

Metodologia

A quantificação da eficácia do dimensionamento prévio do manto resistente de um quebra-mar é conseguida através de ensaios em modelo físico reduzido, onde é feita a análise do comportamento hidráulico e/ou estrutural dos seus elementos constituintes.

Para avaliar o nível de dano ocorrido ao longo dos ensaios em modelo reduzido, 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 extrair de pares de fotografias simultâneas da mesma cena, a forma, as dimensões e a posição dos objetos nela contidos [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 criando uma representação da cena observada, resultando daí a chamada visão estéreo ou estéreopsia.

Mais concretamente, esse processo permite obter a representação tridimensional da realidade (também designada por cena) a partir de pares de fotografias dessa mesma realidade, ou cena, tiradas de localizações ligeiramente afastadas (Figura 3a)). Por comparação de representações tridimensionais da realidade (também designadas por reconstruções da cena observada), antes e após os ensaios, podem ser determinadas as diferenças entre perfis levantados e conseqüentemente a área erodida.

Esta técnica foi já testada de um modo intensivo [2], [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, permitindo realizar os levantamentos sem que seja necessário esvaziar o canal. O equipamento utilizado consiste em duas câmaras fotográficas montadas numa configuração fixa e aptas a disparar duas fotografias simultâneas, controladas por dois computadores portáteis. (Figura 3).

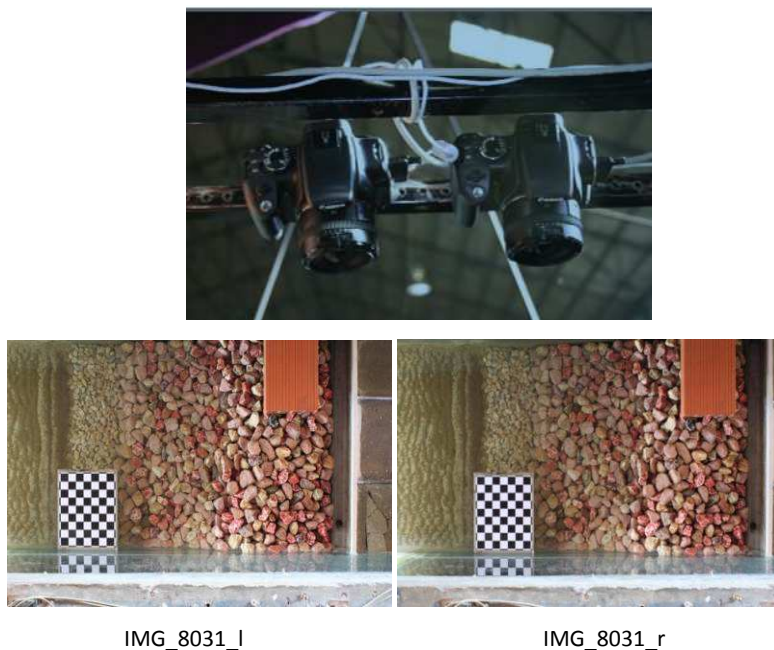


Figura 3. Equipamento fotográfico utilizado e exemplo de um par fotogramétrico obtido durante um levantamento

Embora a separação entre as máquinas possa variar, esta terá que obedecer a um compromisso entre uma separação generosa (a qual facilitará a reconstrução tridimensional) e a separação 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 aproximadamente 16 cm entre os centros das lentes das câmaras.

Foi utilizado um pacote de software que permite a reconstrução tridimensional usando pares de imagens de uma mesma cena, obtidas apenas com um pequeno desfasamento entre si. O pacote de software utilizado consiste em duas aplicações distintas, referentes à calibração das câmaras e à reconstrução tridimensional das superfícies, que se descrevem de seguida.

Calibração das câmaras:

Consiste na identificação dos parâmetros das câmaras e sua posição perante a cena observada partindo de um conjunto de pares de fotografias de um objeto padrão, a quadrícula mostrada na Figura 4. Cada vez que se inicia uma nova sessão fotográfica, a posição e orientação das câmaras podem variar, em resultado de uma ligeira mudança na posição das mesmas relativamente ao objeto fotografado. É, pois, recomendado que para cada sessão seja feita uma calibração.

O processo de calibração consiste em selecionar os quatro cantos internos de um padrão axadrezado, cuja dimensão da quadrícula servirá de referência para as dimensões da cena reconstruída (Figura 4). A mesma quadrícula serve também como referência para a identificação do plano de água. O primeiro canto selecionado define a origem do referencial e o segundo canto a direção do eixo dos x .

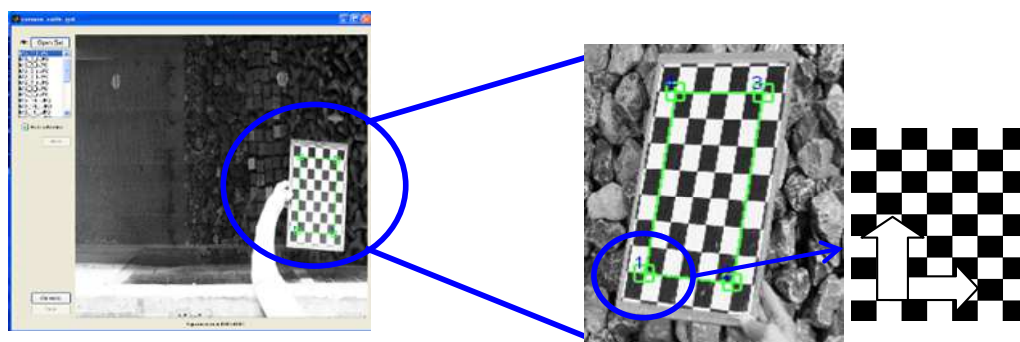


Figura 4. Processo de seleção dos cantos internos do alvo

Este processo reveste-se de uma importância vital para a obtenção de resultados fiáveis, dado que dele dependem todas as dimensões da cena a reconstruir. No final do procedimento de calibração, para cada par de fotografias (esquerda e direita), é obtido um ficheiro que contém toda a informação relativa aos parâmetros das câmaras.

Reconstrução tridimensional das superfícies:

Consiste na identificação da profundidade a partir das duas vistas ligeiramente desfasadas do mesmo cenário (Figura 5). Com este software é possível reconstruir a parte emersa, submersa ou ambas as partes, uma vez que este é capaz de retificar o efeito da refração existente no plano da água.

A partir da análise dos ficheiros reconstruídos, são produzidos ficheiros com as coordenadas (x,y,z) da cena, tanto da parte emersa como da submersa, permitindo extrair perfis ou superfícies com o auxílio do *Golden Software Surfer* (Figura 6).

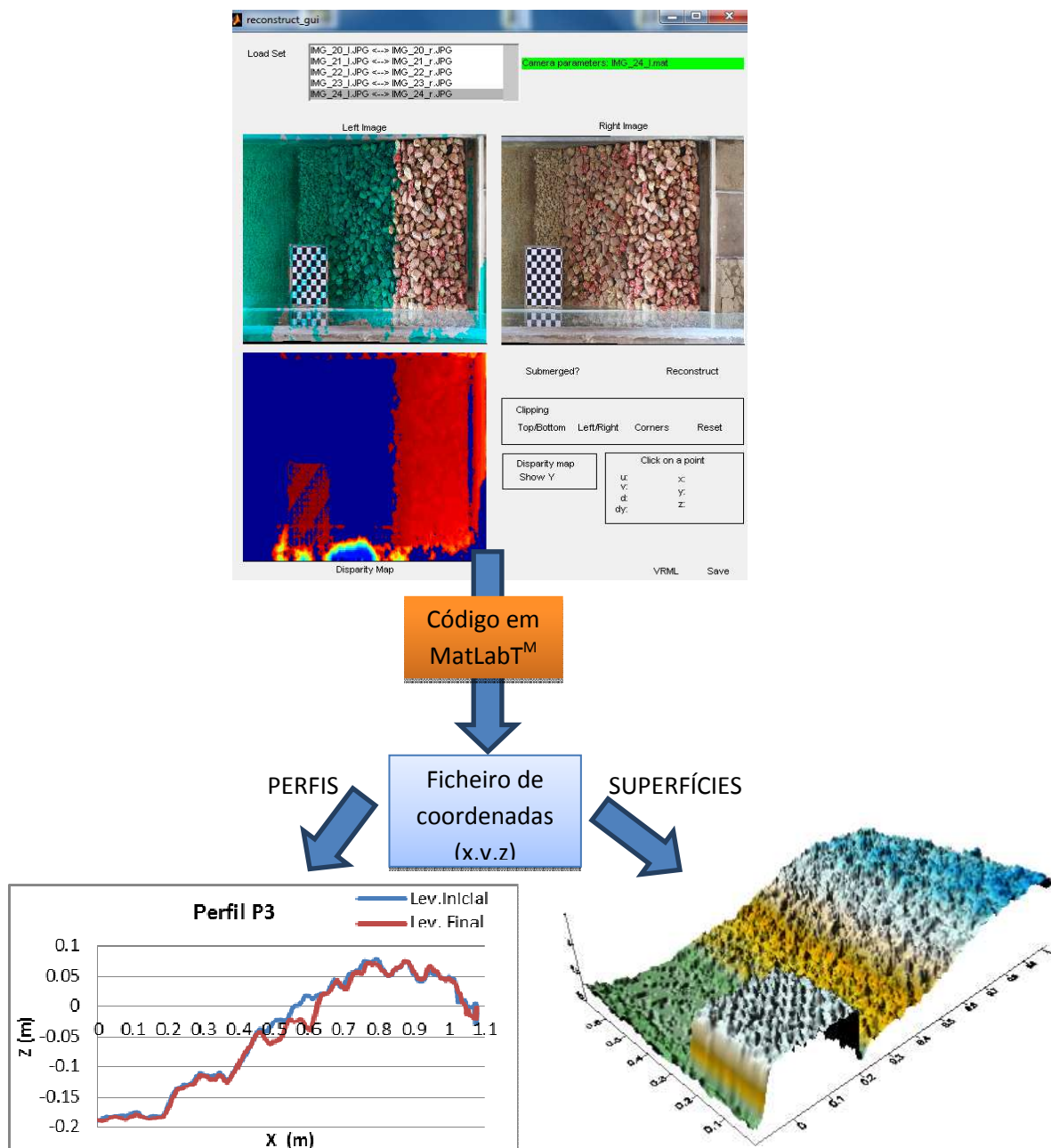


Figura 5. Extração de perfis e superfícies através da análise das partes submersa e emersa de uma reconstrução

Testes realizados

A aplicação desta nova metodologia foi inicialmente efetuada em ensaios bidimensionais em canal de estruturas em talude de enrocamento. Após a construção dos fundos em frente à estrutura a estudar bem como da secção da estrutura marítima, esta última foi dividida em cinco perfis afastados de 10 cm entre si (Figura 6), com vista a uma boa caracterização do dano ocorrido no talude.

Procedeu-se primeiramente a um levantamento do perfil não danificado, a que se seguiu um conjunto de levantamentos de ensaios para testar a fiabilidade do método. No levantamento final foi colocado um tijolo de medidas bem conhecidas (30x20x11) cm no topo do talude de modo a aferir a qualidade das dimensões obtidas no levantamento.

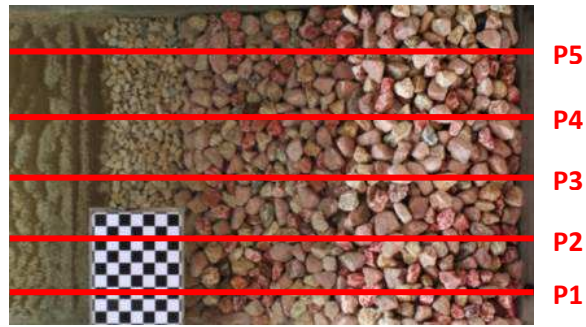


Figura 6. Localização dos perfis P1 a P5

A Figura 7 ilustra os levantamentos inicial e final da envolvente do quebra-mar, bem como a superfície representativa da matriz de diferenças entre ambos os levantamentos. Após a reconstrução da imagem foi possível verificar que as dimensões do tijolo haviam sido levantadas com um erro de 2.0 mm em x e de 2.4 mm em z. A Figura 8 ilustra a área erodida do perfil P3 e a diferença de cotas no perfil P5 resultante da colocação de um tijolo no final da segunda série de ensaios.

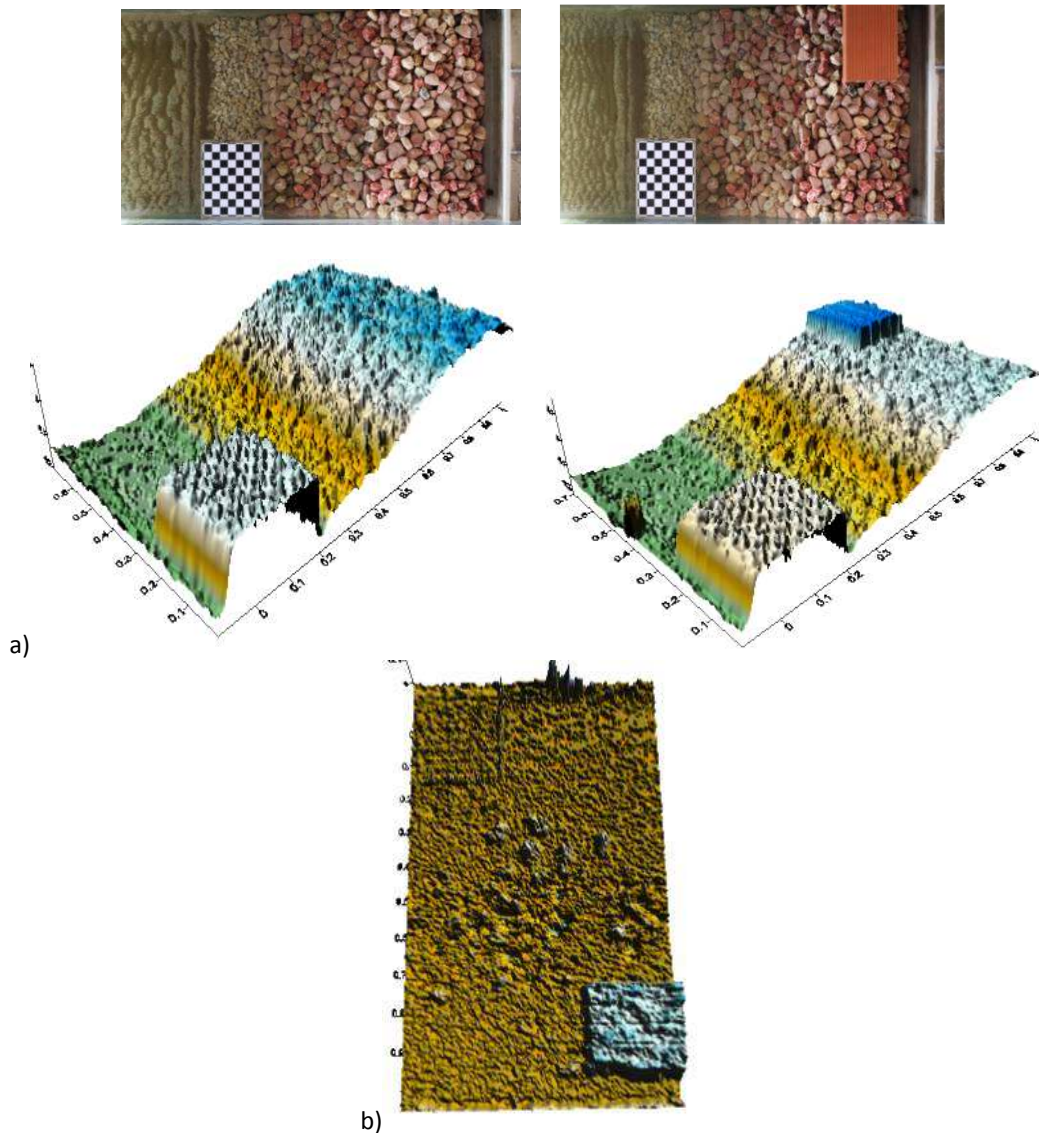


Figura 7 – a) Levantamento inicial e final da envolvente do quebra-mar. b) Superfície representativa da matriz de diferenças entre o levantamento inicial e final.

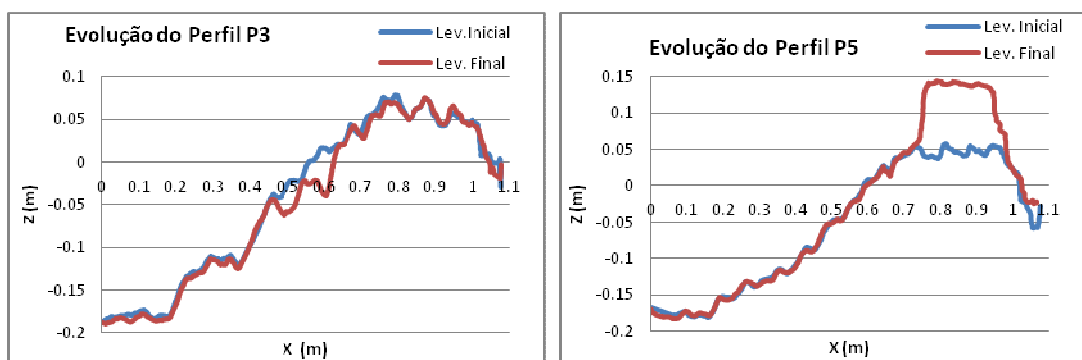


Figura 8 - Evolução da área erodida nos perfis P3 e P5

Com vista a implementar esta técnica fotogramétrica a ensaios em modelos tridimensionais, foram realizados testes num dos tanques 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).



a)



b)

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. A Figura 10 ilustra a reconstrução, a envolvente e os perfis obtidos através de um levantamento realizado com o modelo parcialmente submerso, onde foi colocado um pequeno cubo de betão de modo a aferir a qualidade das dimensões obtidas no levantamento. No entanto, durante a realização do levantamento, 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 (Figura 11).

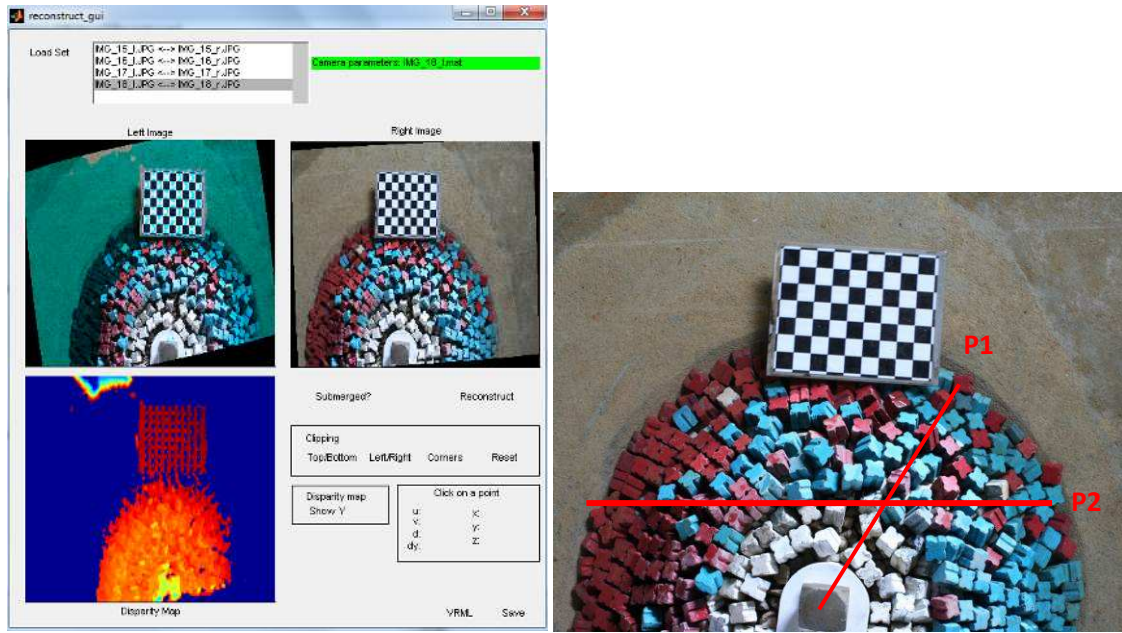


Figura 10 – Reconstrução, envólte e perfis de um levantamento realizado com o modelo parcialmente submerso.

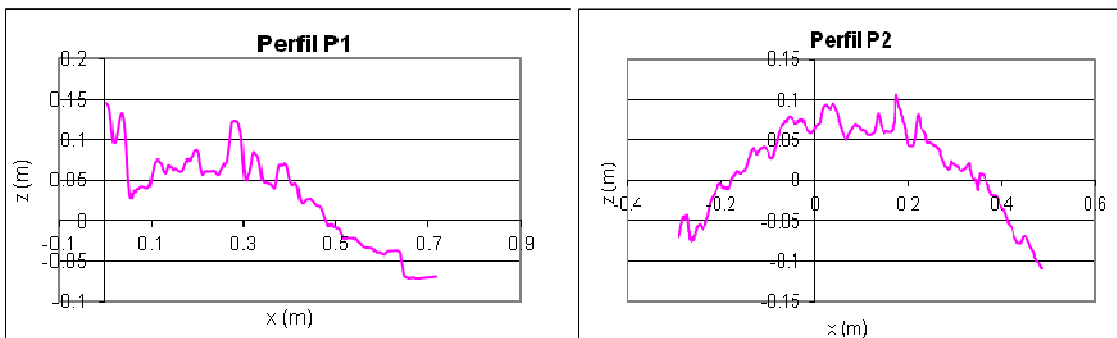
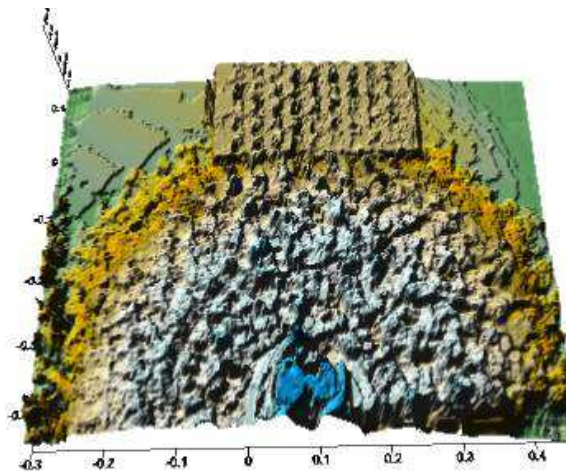


Figura 11. Envólte e perfis obtidos a partir de um levantamento realizado com o modelo parcialmente submerso.

4. COMPARAÇÃO DE IMAGENS OBTIDAS NO FINAL DE ENSAIOS CONSECUTIVOS

Durante os ensaios de estabilidade, a contabilização do número de quedas de blocos artificiais ou de enrocamento está bastante dependente da experiência e sensibilidade do observador. De modo a complementar a observação visual das quedas ocorridas durante um ensaio, foi desenvolvido um algoritmo de tratamento de imagens que permite a comparação entre duas imagens obtidas no final de ensaios consecutivos. Esta técnica é particularmente eficiente na observação de quedas de blocos de enrocamento, as quais são especialmente difíceis de detectar (Figura 12).

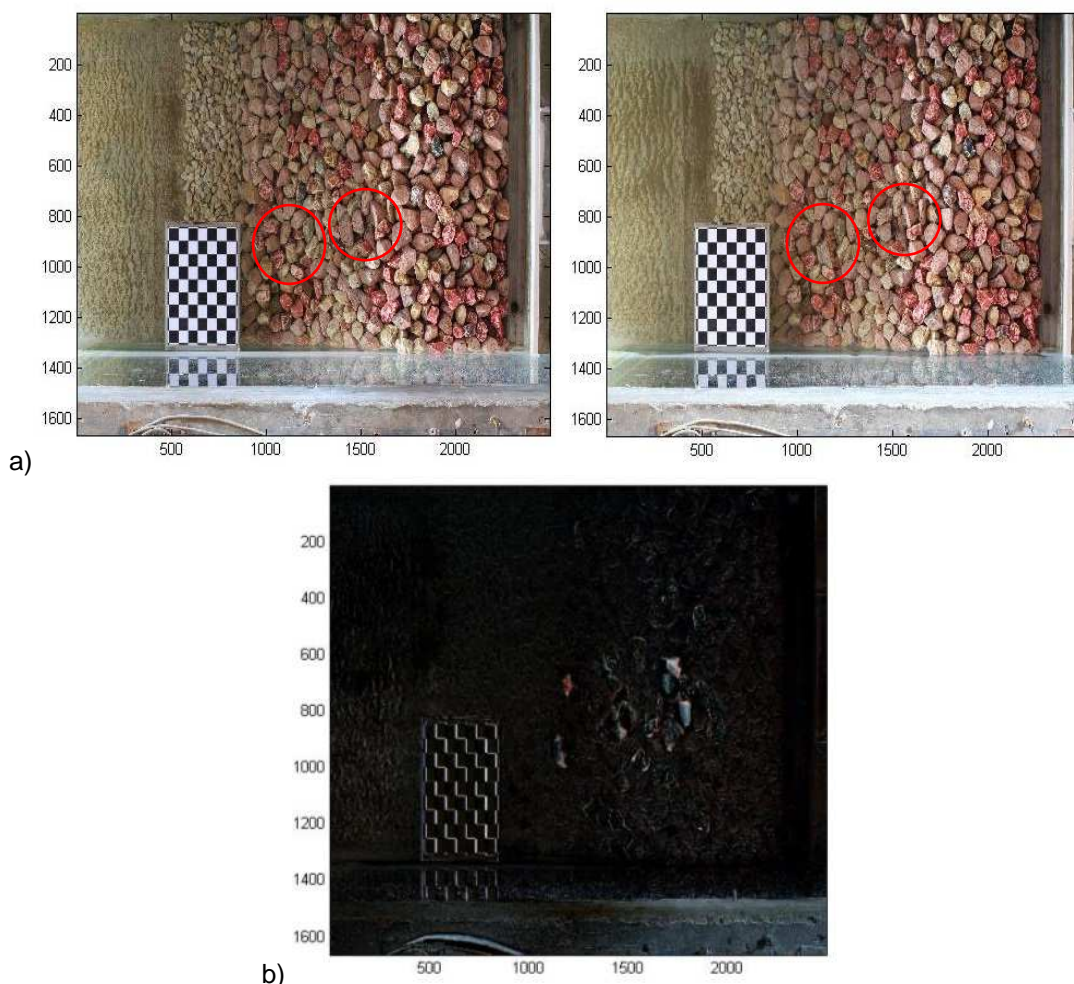


Figura 12. a) Imagens obtidas no final de dois ensaios consecutivos. b) Imagem resultante do algoritmo de comparação das imagens

5. VISUALIZAÇÃO REMOTA DE IMAGENS EM TEMPO REAL DAS INSTALAÇÕES DE ENSAIO

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 dispendiosas, por parte dos clientes e equipas envolvidas nos estudos.

Esta metodologia é baseada na utilização de uma câmara de vídeo instalada sobre o tanque/canal. Essa câmara encontra-se ligada a um portátil onde o software de captura de vídeo "Microsoft Expression Encoder" (Figura 15) está instalado e onde as imagens de vídeo são decodificadas e enviadas para um servidor de rede (Figura 16). Este servidor permite a difusão das imagens através da internet, permitindo um acesso direto, quase em tempo real, ao vídeo por parte dos clientes, bastando para isso aceder ao *link* que lhes é fornecido.

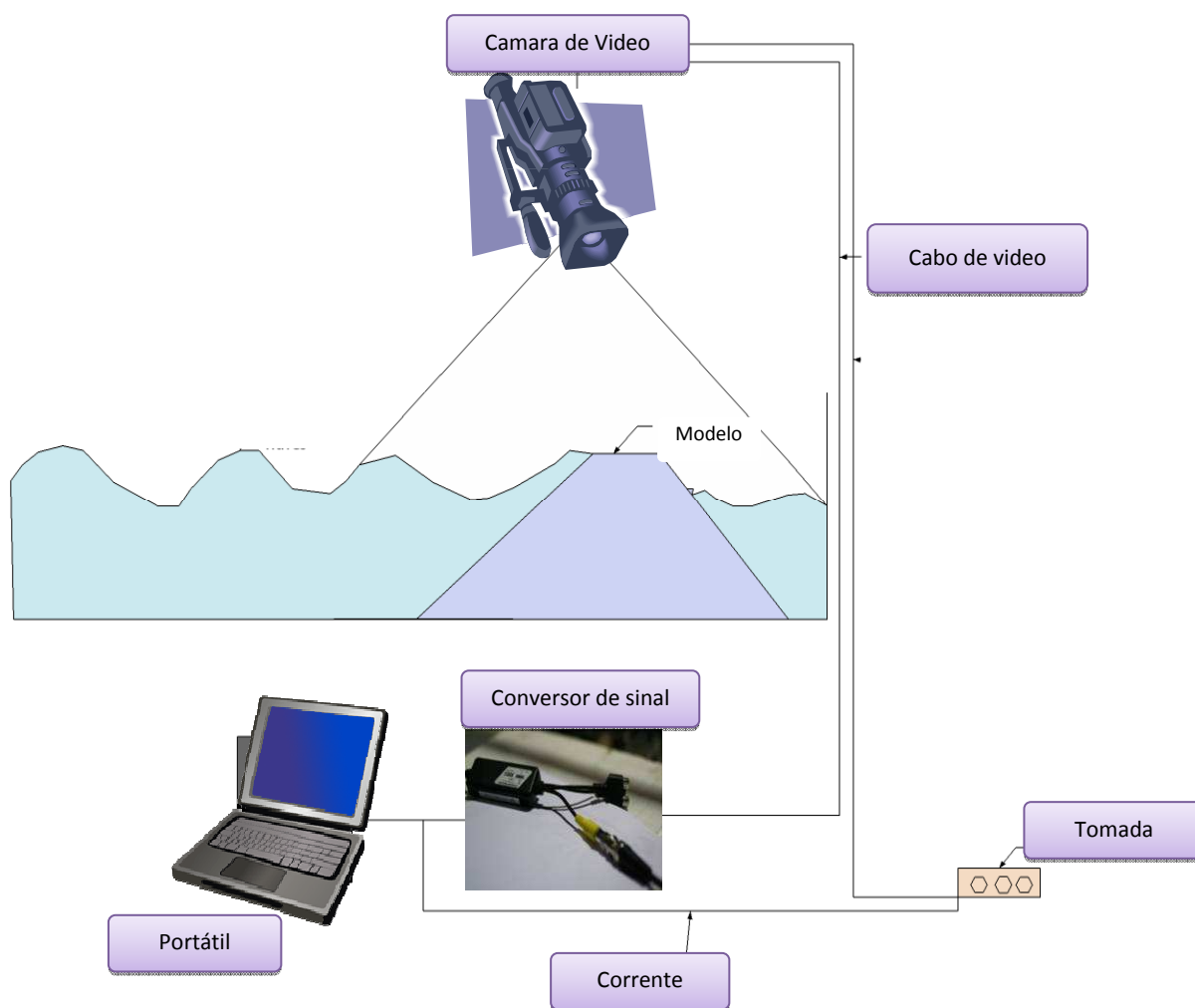


Figura 13. Esquema de montagem do equipamento utilizado para o acesso remoto às instalações de ensaio do NPE

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



Figura 14 - Equipamento utilizado

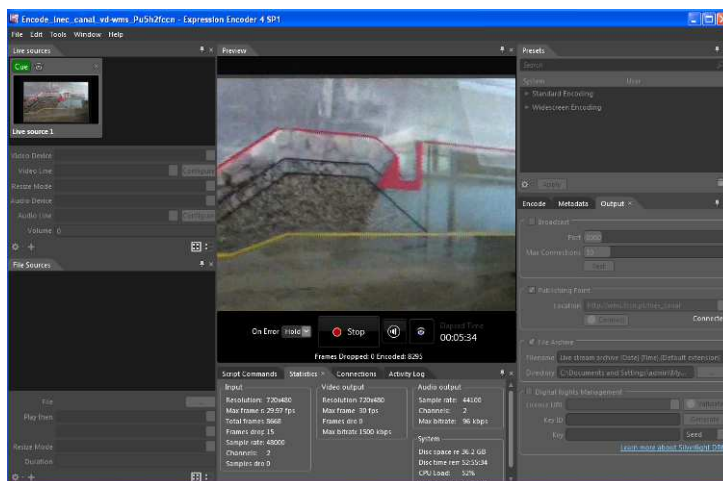


Figura 15 – Software “Microsoft Expression Encoder” utilizado na transmissão remota de imagens

O cliente poderá aceder ao endereço http://wms.fcn.pt/lnc_canal 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 feitos 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 e Angola. Estes utilizadores participaram em testes, durante os quais se verificou que as transmissões decorriam com boa qualidade de imagem, sem interrupções nem congelamento de imagens, apesar de ocorrer sempre um variável atraso na transmissão dos dados [4]. Este atraso variou entre 20 segundos e 2 minutos, dependendo essencialmente da velocidade da internet a que o utilizador tem acesso.



Figura 16 - Localização dos participantes nas experiências de acesso remoto às instalações experimentais do LNEC

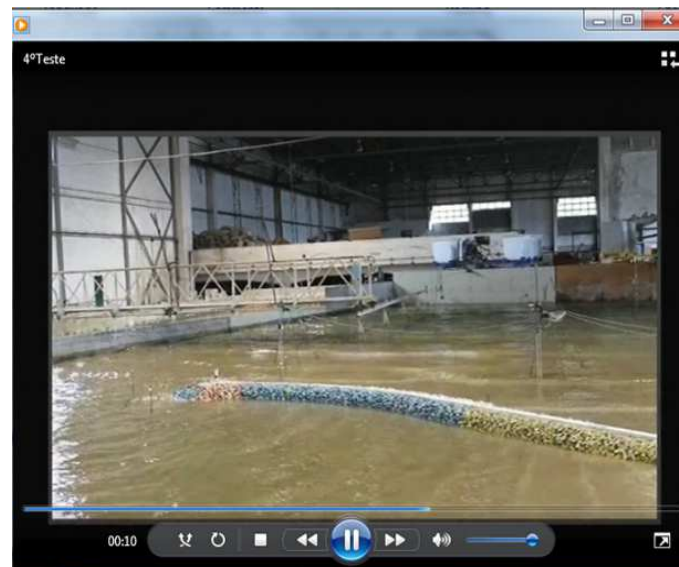
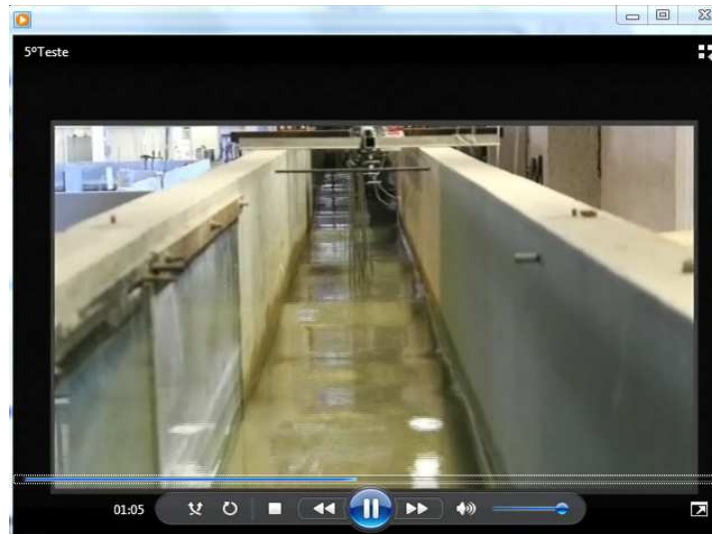


Figura 17 – Visualização das experiências levadas a cabo no canal de ondas irregulares CO11 e num dos tanques de ondas irregulares

6. VISUALIZAÇÃO REMOTA DA AQUISIÇÃO DE DADOS E SUA PARTILHA EM TEMPO QUASE REAL

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, bastará a cada um dos convidados aceder ao *link* fornecido, o qual o conduzirá à sessão sem necessidade de instalação de qualquer software. Todos os participantes que se juntem à sessão, verão aberto no seu *desktop* o painel da sessão (Figura 18) e terão acesso imediato (condicionado pelas

permissões concedidas) ao *desktop* do apresentador, permitindo visualizar graficamente, e em tempo real, a aquisição dos dados.

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 *desktop* e o *wallpaper*;
- Ocultar ou mostrar o painel da reunião;
- Mostrar ou ocultar participantes.

Pode ainda fazer uso de algumas ferramentas (Figura 19) de grande utilidade, como:

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

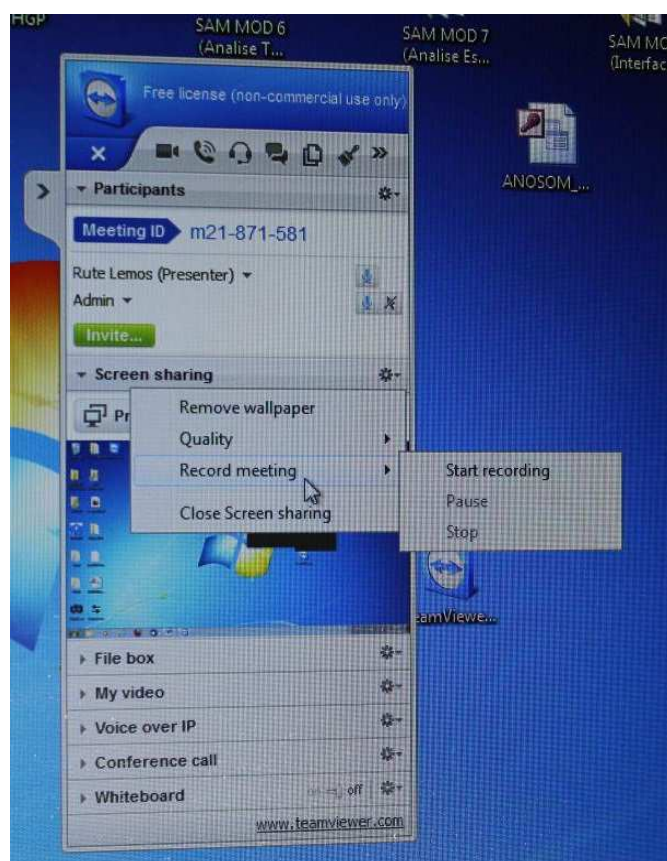


Figura 18 – Painel da sessão

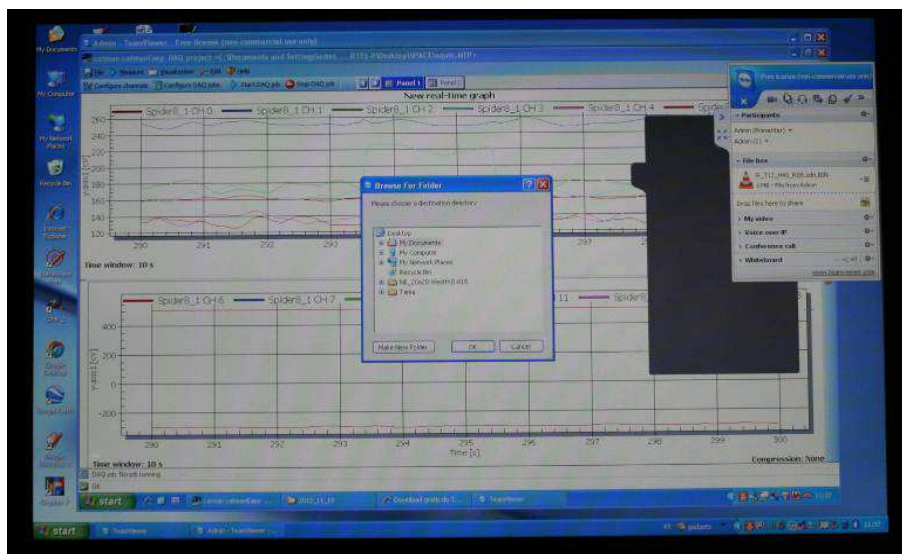


Figura 19 - Janela visualizada pelos participantes, correspondente ao *desktop* do apresentador durante a aquisição de dados e partilha dos dados adquiridos.

Testes realizados com duas instituições localizadas em Portugal Continental [5] revelaram uma boa qualidade de imagem, sem atrasos na transmissão de dados. No entanto, verificou-se que a largura de banda da rede poderá influenciar a qualidade, se a reunião incluir muitos participantes.

6. CONCLUSÕES

De modo agilizar a fase de exploração de ensaios em modelo físico, têm vindo a ser desenvolvidas novas ferramentas com vista a aperfeiçoar o levantamento da envolvente do manto protetor de quebra-mares de taludes, a evolução do dano ao longo dos ensaios e facilitar o acesso generalizado da informação associada à realização dos ensaios.

Para o primeiro caso é utilizada uma técnica de levantamento fotogramétrico, que permite obter superfícies e perfis de taludes de quebra-mares durante os ensaios em modelo físico reduzido. Por comparação de perfis é possível obter a área erodida. Esta técnica mostrou ser bastante eficaz quando aplicada a modelos bidimensionais, tendo sido obtidos perfis de grande qualidade. Presentemente está em desenvolvimento a sua aplicação a modelos tridimensionais.

Os resultados tridimensionais mostraram que a eficácia do método depende essencialmente de um sistema de imobilização do alvo, o qual está a ser atualmente implementado.

A utilização de metodologias de imagens obtidas no final de ensaios consecutivos mostrou potencialidade, mas pretende-se melhorar o algoritmo de comparação de imagens, de modo a permitir quantificar as áreas de erosão e acreção no final de cada ensaio.

Finalmente apresentou-se um conjunto de procedimentos que permitem a visualização remota de imagens em tempo real e o acesso remoto à aquisição de dados e sua partilha, em tempo quase real, aos ensaios em modelo físico realizados no LNEC.

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 N. 261520.

REFERENCIAS

- [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.
- [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
- [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.