

APLICAÇÃO DE UM MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO NA PREVISÃO DA EVOLUÇÃO DA EROÇÃO EM QUEBRA-MARES DE TALUDE

Rute Lemos¹, João A. Santos¹

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
email: {rlemos, jasantos}@lnec.pt

Palavras-chave: Quebra-mar, Evolução do dano, Fotogrametria

Resumo. *Os quebra-mares de taludes são estruturas de protecção portuária muito comuns em Portugal e em cujo projecto se assume a necessidade de obras de manutenção ou reparação ao longo da sua vida útil. Uma das grandezas relevantes para a avaliação da necessidade de realização de obras é o volume erodido do manto protector por acção da agitação marítima, o qual pode ser determinado a partir de levantamentos consecutivos da envolvente dos taludes e com o qual se pode definir o dano da estrutura. Melby (1999) apresentou uma fórmula para previsão da evolução do dano em quebra-mares de taludes baseada nas características da agitação incidente.*

Neste estudo apresentam-se os resultados do trabalho realizado com o objectivo de avaliar a aplicabilidade daquela fórmula em condições de agitação diferentes das consideradas por Melby, tendo para isso sido reproduzidas as experiências descritas por aquele autor. Tratam-se de ensaios de longa duração em modelo físico reduzido em que sequências de estados de agitação estacionários vão atingindo o manto protector e se mede a área erodida no final da actuação de cada estado de agitação.

A medição da área erodida no final da actuação de cada estado de agitação foi realizada a partir da reconstrução de pares estereoscópicos de fotografias em que a refração induzida pela interface ar água é corrigida. Tal permite a obtenção das fotografias mantendo-se a água no canal. Pretendeu-se com este estudo, avaliar a operacionalidade desta técnica em ensaios de longa duração, para os quais seja necessário o levantamento exhaustivo de perfis.

1. INTRODUÇÃO

Os quebra-mares de taludes são as estruturas mais utilizadas para a criação de condições de abrigo nos portos portugueses instalados em costa aberta.

Os projectos destas estruturas são realizados no pressuposto de que, durante o período de vida útil das mesmas, serão necessárias obras de reparação, quando as solicitações excederem as condições de projecto, e de manutenção, quando o estado de fadiga dos materiais puser em causa a estabilidade das estruturas.

O custo destas estruturas e as dificuldades inerentes à sua construção, bem como as consequências da sua ruína nas operações portuárias, justificam a existência de programas de monitorização das mesmas, de modo a que as intervenções acima referidas possam ser realizadas em tempo útil e com o menor custo possível.

O volume erodido do manto protector de um quebra-mar de taludes por acção da agitação marítima é um indicador fundamental da sua evolução, podendo determinar-se a partir de levantamentos consecutivos da envolvente do manto.

Fazendo-se uso da formulação proposta por Melby [1], que teve por base os resultados de cinco séries de ensaios de longa duração, é possível prever a evolução do dano do manto resistente de um quebra-mar de taludes numa determinada fase da vida útil da estrutura.

Para os casos em que se tem uma sequência de estados de agitação, a formulação proposta por Melby foi a seguinte:

$$\bar{S}(t) = \bar{S}(t_n) + a_p (N_{m0})^5 (T_p)^{-b} (t^b - t_n^b) \quad \text{para} \quad t_n < t < t_{n+1} \quad (1)$$

onde:

- $\bar{S}(t)$ - Danos verificados no instante t ;
- $\bar{S}(t_n)$ - Danos verificados no instante t_n ;
- $N_{m0} = \frac{H_{m0}}{\Delta D_{n50}}$ (3)
- H_{m0} é a altura de onda significativa definida a partir do espectro do estado de agitação;
- T_p é o período de pico do espectro.

Este modelo permite calcular, para cada intervalo em que H_{m0} e T_p são constantes, o incremento do dano médio, \bar{S} , possibilitando assim o cálculo da evolução do dano em situações em que a agitação é variável ao longo do tempo.

Na Eq (1), a_p e b são coeficientes empíricos determinados mediante a realização de ensaios.

O melhor ajuste das Eqs 1 aos resultados dos ensaios supracitados, foi obtido com os seguintes valores: $a_p = 0,0202$ e $b = 0,25$.

$$\bar{S}(t) = \bar{S}(t_n) + 0.0202 (N_{m0})^5 (T_p)^{-0.25} (t^{0.25} - t_n^{0.25}) \quad \text{para} \quad t_n < t < t_{n+1} \quad (4)$$

Com esta equação é possível determinar a evolução dos danos ocorridos entre t_n e t_{n+1} sem que seja necessário saber a sua evolução anterior a t_n . Contudo, é necessário o ajuste das mesmas para cada tipo de estrutura e características de agitação, sendo para isso, necessária, a realização de ensaios de longa duração em modelo físico reduzido.

A motivação do presente trabalho foi, pois, fazer uma primeira abordagem a este tipo de ensaios, com vista a alargar o âmbito dos ensaios de estabilidade e galgamentos de quebra-mares de taludes, realizados no LNEC em modelo físico reduzido, de modo a realizar a previsão da evolução do dano deste tipo de estruturas.

A necessidade de realização de numerosos levantamentos ao longo deste tipo de ensaios torna morosa a execução dos mesmos, se para isso for necessário o esvaziamento do canal (no caso de ensaios bidimensionais), ou mesmo impraticável no caso de ensaios tridimensionais, dada a necessidade de esvaziamento frequente do tanque.

Para reduzir estes tempos mortos, investiga-se neste trabalho a operacionalidade de uma técnica de levantamento da envolvente do manto baseada na reconstituição de cenas submersas a partir de pares de fotografias obtidos sem o esvaziamento do tanque ou canal onde a estrutura está a ser ensaiada.

Os objectivos deste estudo foram, pois:

- Aplicar as fórmulas propostas por Melby para previsão da evolução da erosão em taludes de quebra-mares de enrocamento aos resultados de ensaios com modelos físicos reduzidos de longa duração;
- Avaliar o desempenho de um método para levantamento da envolvente de taludes de quebra-mares baseado em estereofotogrametria.

Contudo, na presente comunicação será dado ênfase ao segundo objectivo.

2. ENSAIOS EM MODELO FÍSICO

Os ensaios foram realizados nas instalações experimentais do Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) (Figura 1) num dos canais de ondas irregulares, designado por COI1. Este canal tem, aproximadamente 50 m de comprimento, 1,60 m de largura e 0,80 m de profundidade útil (Figura 2). Nele é possível a geração de ondas regulares e irregulares. Para tal, está equipado com um gerador do tipo pistão com o sistema AWASYS (Active Wave Absorption System), de absorção activa da onda [2], que permite uma absorção dinâmica da reflexão.



Figura 1 - Instalações experimentais do Departamento de Hidráulica e Ambiente do LNEC.

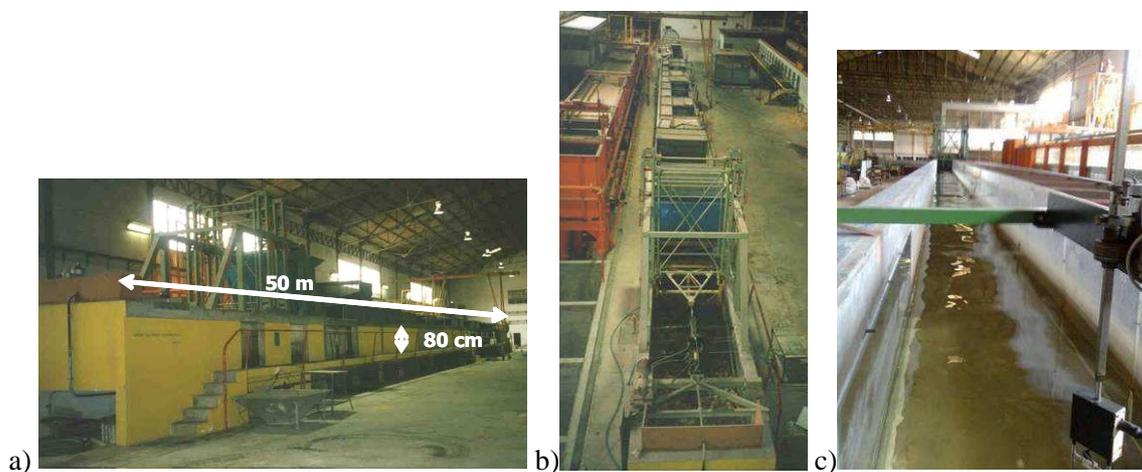


Figura 2 - Canal de ondas irregulares COI1: a) Vista exterior; b) Vista superior; c) Vista interior.

2.1. Condições experimentais e implementação do modelo físico no canal

Na realização dos ensaios em modelo físico, foram utilizadas as condições experimentais que se encontram resumidas na Tabela 1.

Condições Experimentais	
Inclinação da praia	1:20
Inclinação do talude	1:2
Altura de coroamento	30,5 cm
Diâmetro nominal do enrocamento D_{n50}	3,64 cm
Peso médio do enrocamento	128 g
Densidade do enrocamento	2,7 g/cm ³
Densidade de colocação dos blocos (duas camadas)	1285 blocos/m ²

Tabela 1 - Condições experimentais

O perfil longitudinal consiste numa rampa de cerca de 11,3 m com inclinação de 1:20 (inclinação da praia) que termina numa plataforma horizontal onde foi construída a estrutura. A profundidade junto ao pé do talude foi de 11,9 cm ou 15,8 cm consoante o nível de água ensaiado. O desenvolvimento dos fundos entre a rampa e o gerador é feito através de um declive de 2,2 % ao longo de 15,2 m (Figura 3).

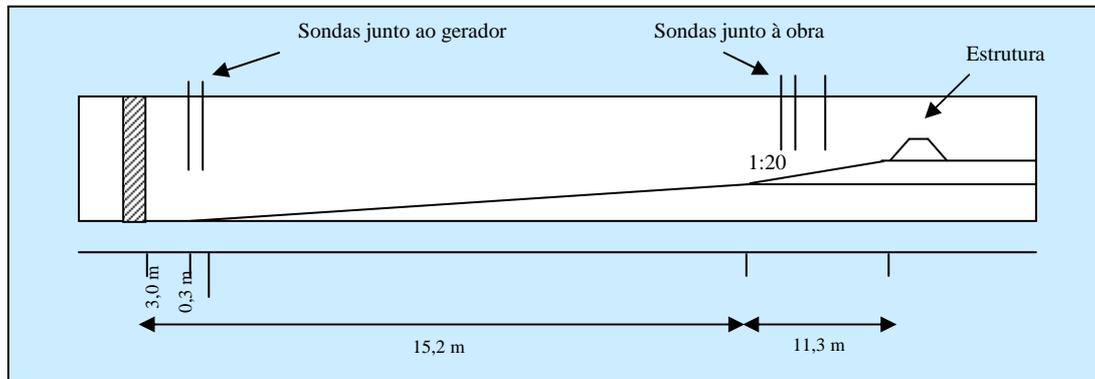


Figura 3 - Perfil longitudinal da estrutura ensaiada.

O modelo ensaiado possuía características análogas às dos quebra-mares correntemente construídos, sendo constituído por um núcleo, um filtro e um manto protector.

O seu núcleo era constituído por material de todo o tamanho (T.O.T.). O filtro, por seu lado, era constituído por enrocamento com uma massa mediana, M_{50} , de 32 g. A Figura 4 ilustra o aspecto da estrutura ensaiada e o seu perfil transversal.

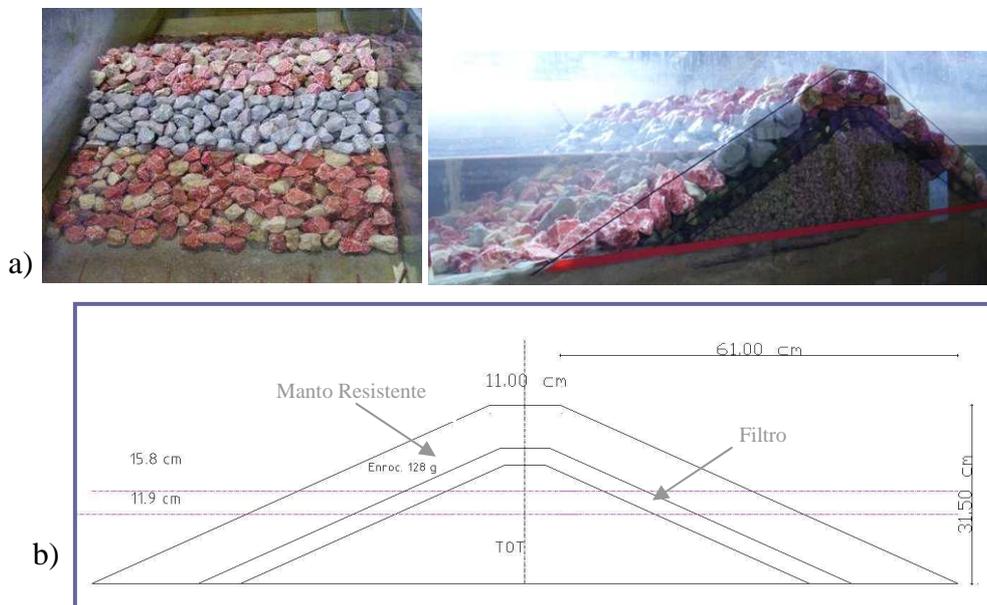


Figura 4 - Aspecto da estrutura ensaiada (a) e respectivo perfil transversal (b).

2.2. Agitação Incidente

Os ensaios foram realizados com ondas irregulares, tendo sido reproduzidos 6 estados de agitação, utilizando dois níveis de água, dois períodos de pico e seis alturas de onda significativa. A Tabela 2 resume as características da agitação utilizadas para gerar o sinal fornecido ao gerador de ondas irregulares.

Ensaio	Profundidade no Pé Talude – h_t (cm)	Profundidade junto ao gerador (m)	T_p (s)	H_{m0} (cm)
1	11,9	0,550	2,48	9,0
2	11,9	0,550	2,48	11,0
3	11,9	0,550	2,48	12,0
4	15,8	0,594	2,59	10,0
5	15,8	0,594	2,59	13,0
6	15,8	0,594	2,59	14,0

Tabela 2 - Características da agitação utilizadas para gerar o sinal fornecido ao gerador de ondas irregulares.

A obtenção da agitação incidente foi efectuada através da geração prévia, com uma frequência de geração de 40 Hz, de um conjunto de ondas caracterizado por um espectro empírico do tipo JONSWAP, com um factor de pico, ou factor de esbelteza do espectro, $\gamma=3,3$.

2.3. Séries de Ensaios

Ao todo foram realizadas cinco séries de ensaios (Tabela 3). Apenas a primeira série (Série A) não foi repetida. No entanto, nesta comunicação não serão apresentados os resultados das repetições dos ensaios B e C.

Séries de ensaios	Ordem das condições de agitação	Nível de água	Duração
A	1, 2, 3, 4, 5, 6	Baixo-Alto	28,5 h
B	1, 2, 3, 5, 6	Baixo-Alto	8,5 h
C	4, 5, 6, 2, 3	Alto-Baixo	9,0 h

Tabela 3 - Séries de ensaios realizadas.

A série de ensaios A obedeceu à actuação dos seis estados de mar por ordem crescente de intensidade. Cada estado de mar actuou repetidamente em ensaios de 15 minutos, até se verificar a estabilização dos danos. Passou-se de seguida ao estado de mar seguinte, tendo sido feito um levantamento do talude de duas em duas actuações, ou seja, de 30 em 30 minutos. A duração total desta série de ensaios foi de cerca de 28,5 horas até ser atingida a ruína. Nas séries de ensaios B e C, o nível de água foi crescente e decrescente, respectivamente. O procedimento de ensaio foi semelhante ao da série de ensaios A, tendo, no entanto, cada estado de mar uma duração total limitada, repartida também por períodos de 15 min (Tabela 4).

Série A		Série B		Série C	
Ensaio	Duração (h)	Ensaio	Duração (h)	Ensaio	Duração (h)
1	1,5	1	0,5	4	1
2	1,5	2	2	5	2
3	7,5	3	2	6	2
4	1	-	-	2	2
5	6	5	2	3	2
6	11	6	2	-	-

Tabela 4 - Durações de actuação de cada ensaio

2.4. Levantamento dos perfis através do método fotogramétrico

No presente trabalho, de modo a obter-se uma amostragem significativa dos danos ocorridos no talude do quebra-mar para todas as séries de ensaios, foi feito, para além de um levantamento do perfil não danificado (L0), 17 levantamentos (L1 a L17), no caso da série de ensaios B, 18 levantamentos (L1 a L18), no caso da série de ensaios C e 57 levantamentos (L1 a L57) no caso da série de ensaios A.

De forma a cobrir a máxima área de talude, este foi dividido em sete perfis, identificados na Figura 5. Deste modo, para cada um dos levantamentos das séries A e C, foram extraídos 7 perfis, numa totalidade de 399 e 126 perfis respectivamente.



Figura 5 - Localização dos perfis levantados

A fotogrametria pode ser definida como a técnica de extrair de fotografias, a forma, as dimensões e a posição dos objectos nelas contidos. No caso da estereofotogrametria, esse processo permite obter imagens tridimensionais a partir de pares de fotografias do mesmo cenário, tiradas de localizações ligeiramente afastadas. Para esse efeito, sobre o canal foi instalada uma estrutura que permitiu colocar as câmaras fotográficas nos levantamentos fotogramétricos.

O equipamento utilizado consistiu em duas câmaras fotográficas montadas numa configuração fixa e aptas a disparar duas fotografias simultâneas (Figura 6).

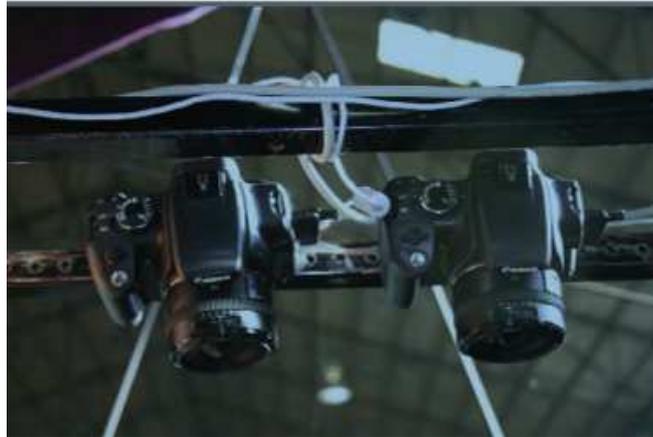


Figura 6 - Câmaras fotográficas utilizadas nos levantamentos.

A Figura 7 ilustra alguns dos pares estereofotogramétricos obtidos durante um dos levantamentos efectuados.

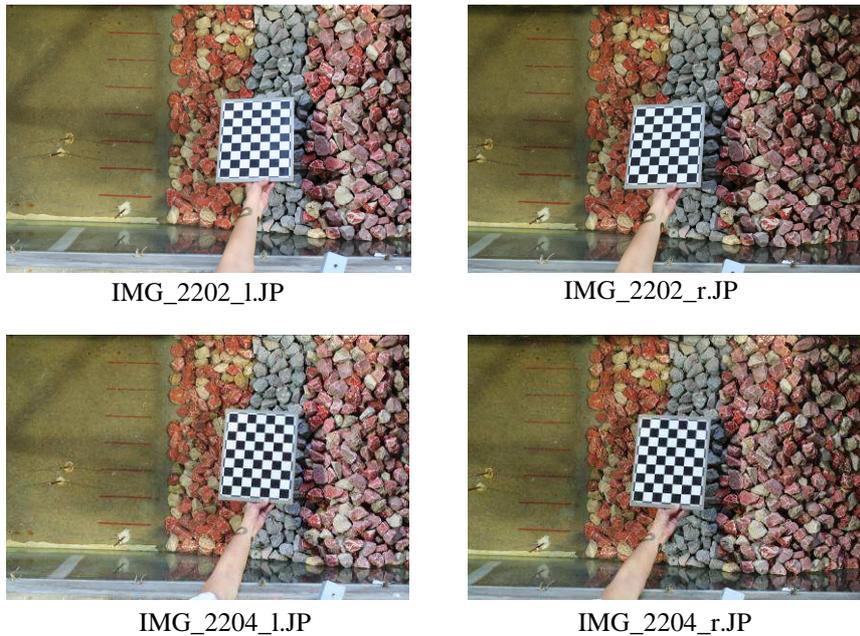


Figura 7 - Exemplo de alguns pares estereofotogramétricos

Embora a separação entre as máquinas possa variar, esta terá que manter um limite aceitável, pois uma grande separação conduzirá a fotografias de faces diferentes do mesmo objecto, tornando a reconstrução impossível. Todos os ensaios descritos foram realizados com uma distância fixa de aproximadamente 16 cm entre os centros das lentes das câmaras.

Foram utilizadas câmaras fotográficas digitais (Canon EOS 350D) com lentes de distância focal fixa de 35 mm (Canon EF 35 mm $f/2$), permitindo trabalhar com três tipos de resolução;

1728x1152 pixel (baixa), 2496x1664 pixel (média) e 3456x2304 pixel (alta), originando ficheiros com 2, 4 e 8 megapixel respectivamente. A resolução ideal para este tipo de trabalho é a média, dado que permite obter fotografias com boa resolução e é compatível com o software de tratamento de dados.

A velocidade de abertura seleccionada, por ser a ideal para uma distância de focagem de cerca de 2 m, foi de $f/9$. A Figura 8 ilustra quatro pares de fotografias obtidos com as câmaras acima descritas.

Foi utilizado um pacote de software que permite a reconstrução tridimensional usando pares de imagens de um mesmo cenário, obtidas apenas com um pequeno desfasamento entre si [3]. O pacote de software utilizado consiste em duas aplicações distintas que se descrevem de seguida.

Calibração das câmaras:

Consiste na identificação dos parâmetros das câmaras e sua posição perante o cenário observado. Cada vez que se inicia uma nova sessão fotográfica, os parâmetros da máquina tais como a focagem e a orientação relativa podem variar, em resultado de uma ligeira mudança na posição das câmaras relativamente ao objecto fotografado. É, pois, recomendado que para cada sessão seja feita uma calibração.

O processo de calibração consiste em seleccionar os quatro cantos internos de um padrão axadrezado, cuja dimensão da quadrícula servirá de referência para as dimensões do cenário reconstruído (Figura 8). A mesma quadrícula serve também como referência para a identificação do plano de água.

O primeiro canto seleccionado define a origem do referencial e o segundo canto a direcção do eixo dos x . A selecção dos cantos deverá ser feita contra o sentido do ponteiro dos relógios, devendo a ordem de selecção ser mantida constante para cada par de fotografias. É necessário um mínimo de dois pares de fotografias para o processo de calibração. No entanto, para resultados satisfatórios, será conveniente a utilização de cerca de 15 pares de fotografias.

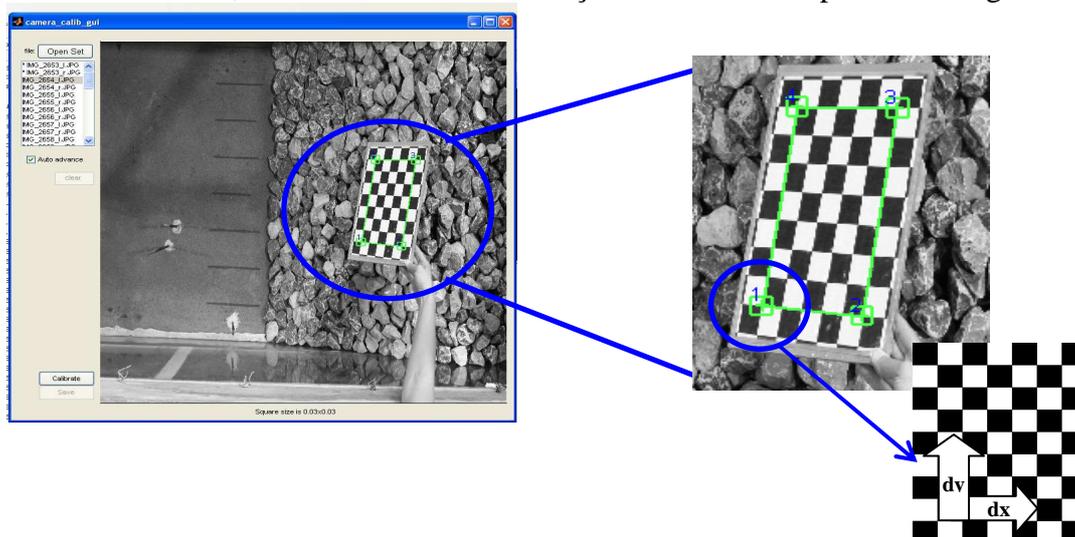


Figura 8 - Processo de selecção dos cantos internos do alvo.

Este processo reveste-se de uma importância vital para a obtenção de resultados fiáveis, dado que dele dependem todas as dimensões do cenário 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:

Consiste na identificação da profundidade a partir das duas vistas ligeiramente desfasadas do mesmo cenário (Figura 9). Com o software utilizado é possível reconstruir a parte emersa, submersa ou ambas as partes, uma vez que este é capaz de rectificar o efeito da refração existente no plano da água.

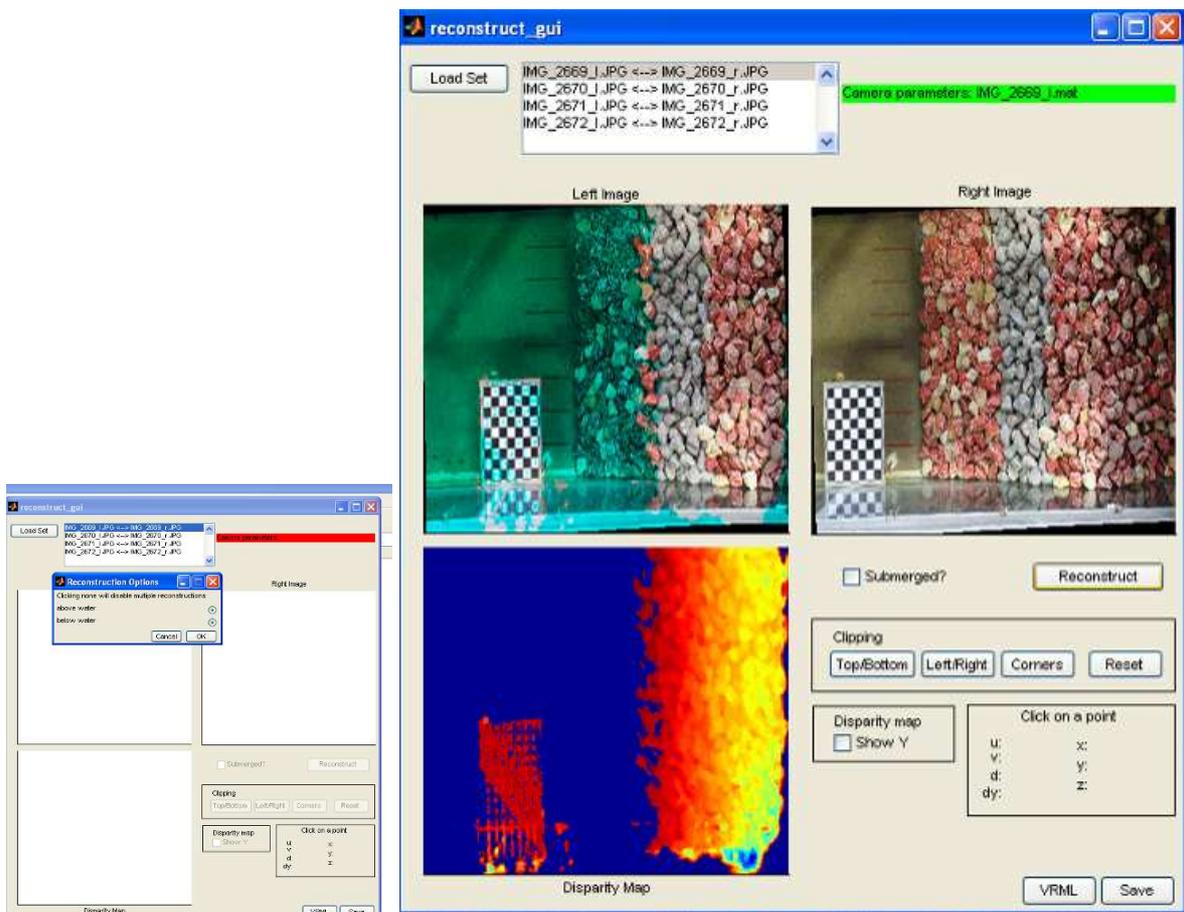


Figura 9 - Reconstrução de um cenário parcialmente submerso, no início de um dos ensaios.

A partir da análise dos ficheiros reconstruídos é possível obter ficheiros com as coordenadas (x,y,z) do cenário, tanto da parte emersa como da submersa, permitindo extrair perfis ou superfícies com o auxílio do Golden Software Surfer (Figura 10).

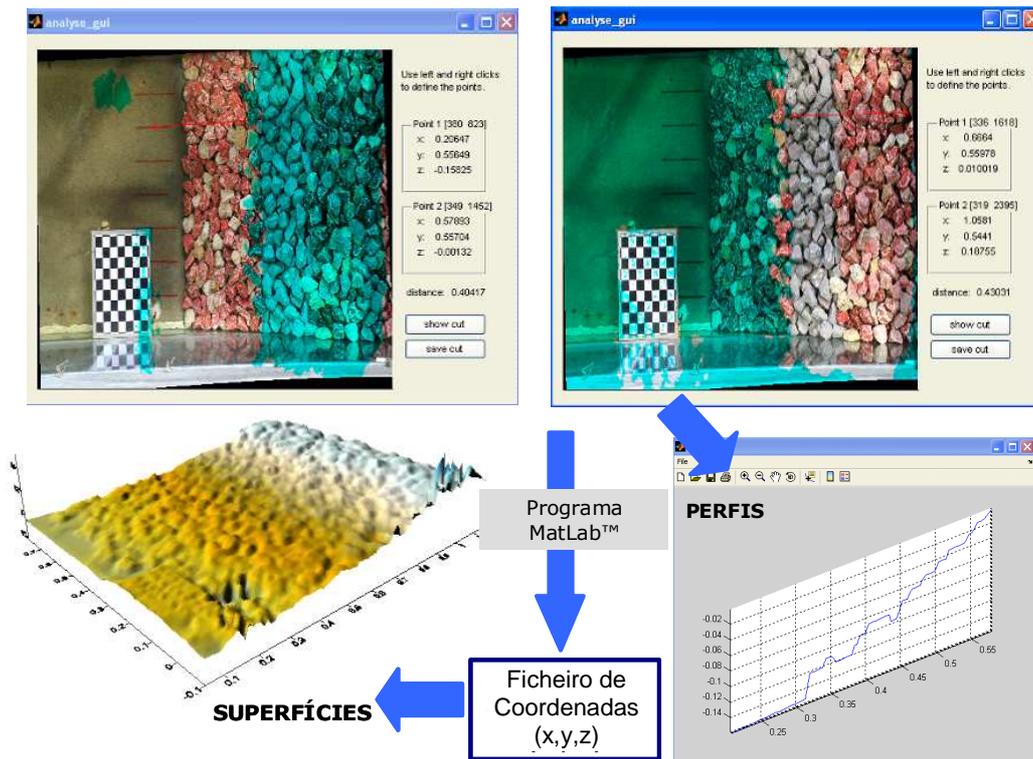


Figura 10 - Extracção de perfis através da análise das partes submersa e emersa de uma reconstrução.

3. RESULTADOS DOS ENSAIOS

3.1. Determinação do nível de dano e parâmetros do perfil erodido

Para o grau de danos de um quebra-mar, existem várias definições e parâmetros. A definição de dano utilizada neste trabalho foi a de Broderick e Ahrens [4] e de Van der Meer [5], os quais definiram o dano (S) como a área transversal erodida adimensionalizada pelo quadrado do diâmetro nominal dos elementos do manto protector Eq. (5).

$$S = \frac{A_e}{\left(\frac{M_{50}}{\rho_s}\right)^{2/3}} = \frac{A_e}{D_{n50}^2} \quad (5)$$

Partindo dos perfis levantados é possível calcular a área erodida, comparando-os com perfis levantados antes do início do ensaio (não danificado).

Usando um programa elaborado em Visual Fortran™ que usa como dados de entrada o perfil inicial e o perfil a comparar, é possível calcular a área erodida (A_e), a largura erodida (L) e a profundidade de cobertura (C), embora apenas a A_e tenha sido objecto de tratamento para a determinação do dano. São, no entanto, dados valiosos para tratamento estatístico bem como para estabelecer um relacionamento da evolução dos valores desses parâmetros com a evolução do dano (S). A Figura 11 ilustra a definição dos parâmetros de dano.

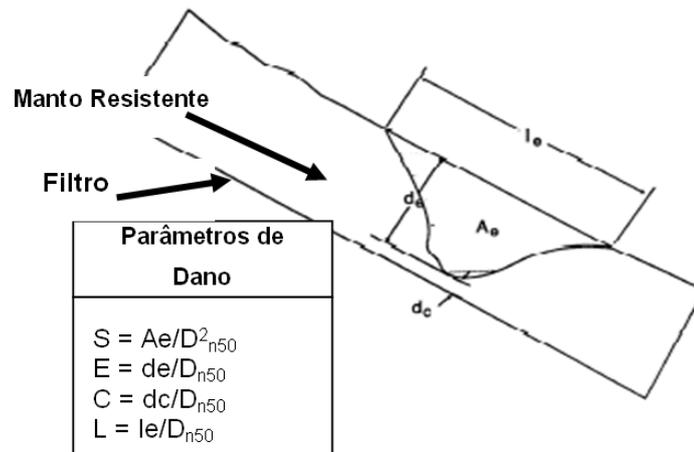


Figura 11 - Definição dos parâmetros de dano.

Em cada um dos levantamentos foi considerada a maior área erodida de cada um dos sete perfis, com vista ao cálculo do dano para cada perfil. Por fim foi determinado o dano médio medido.

Nas Figuras 12 e 13 são apresentados alguns gráficos exemplificativos da evolução dos perfis levantados nos ensaios A e B. Neles é possível observar a progressão gradual do dano, verificando-se, no final da série de ensaios, o aparecimento do tradicional perfil em “S”.

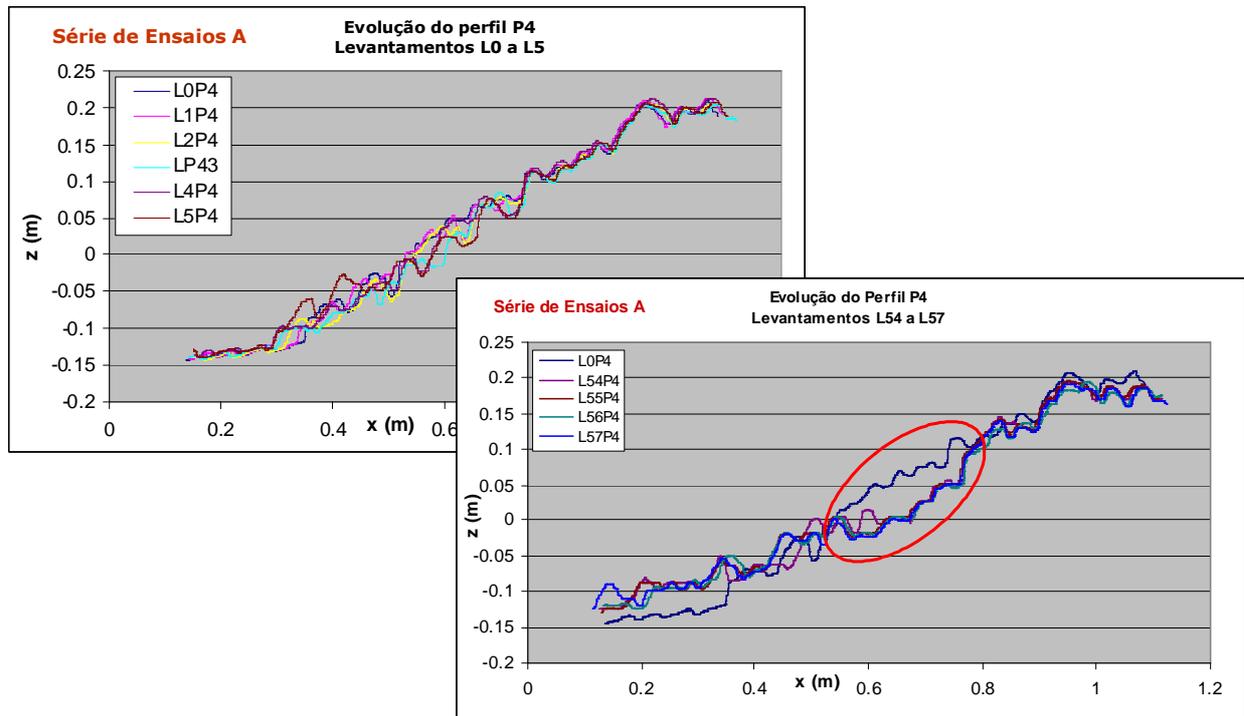


Figura 12 - Série de ensaios A. Evolução do Perfil P4 entre o levantamento inicial (L0) e final (L57).

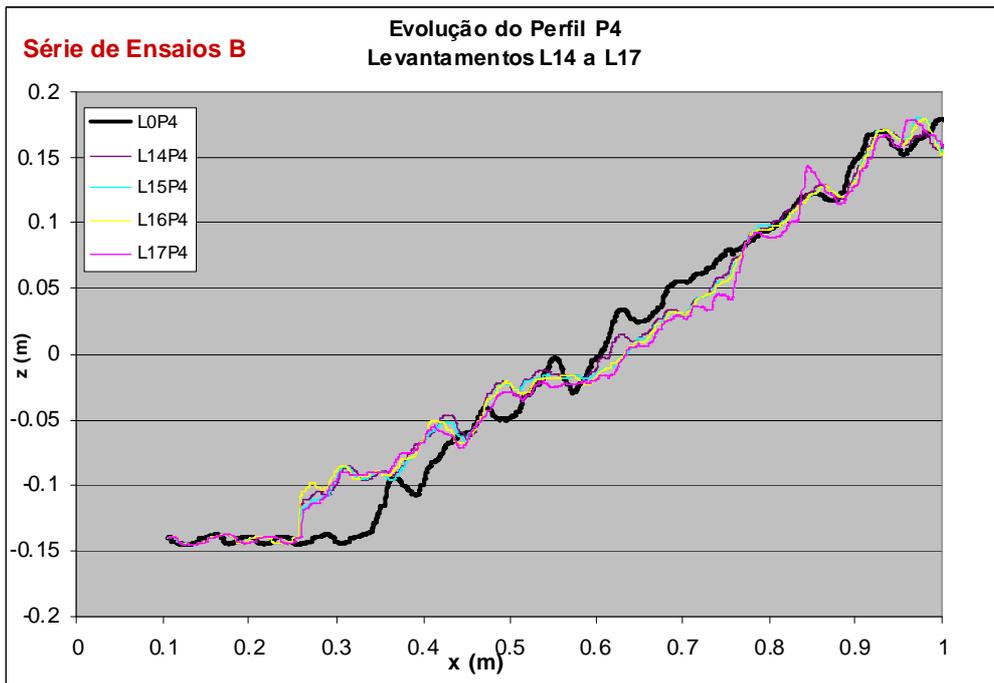


Figura 13 - Série de ensaios B. Evolução do Perfil P4 entre o levantamentos inicial (L0) e final (L17).

As Figuras 14 e 15 ilustram o aspecto do perfil ensaiado, bem como o respectivo levantamento fotogramétrico da envolvente no final das séries de ensaio A e B, respectivamente.

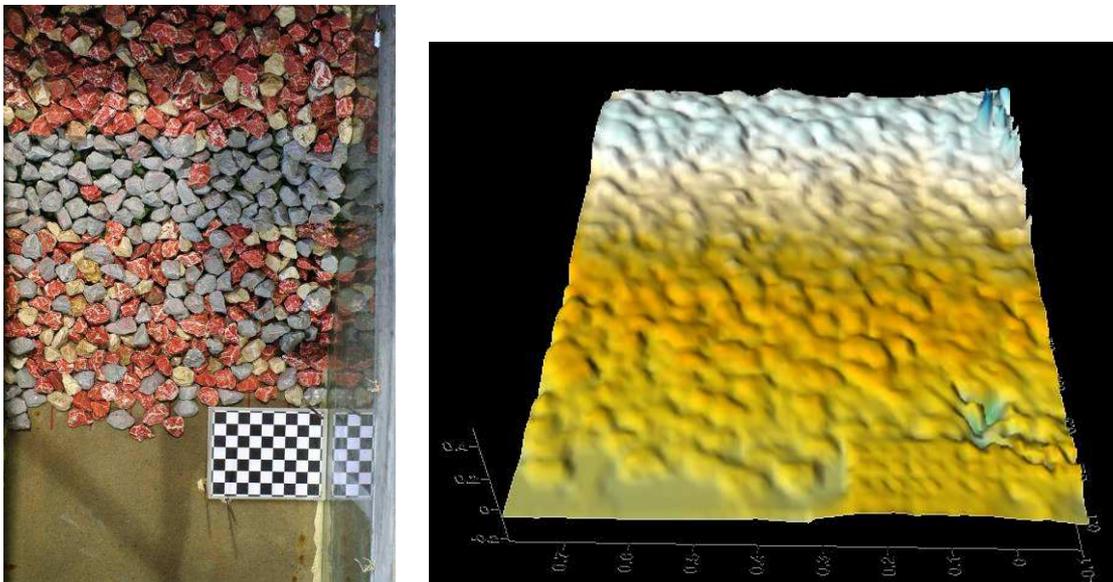


Figura 14 - Série de ensaios A. Evolução do Perfil P4 entre o levantamentos inicial (L0) e final (L57).

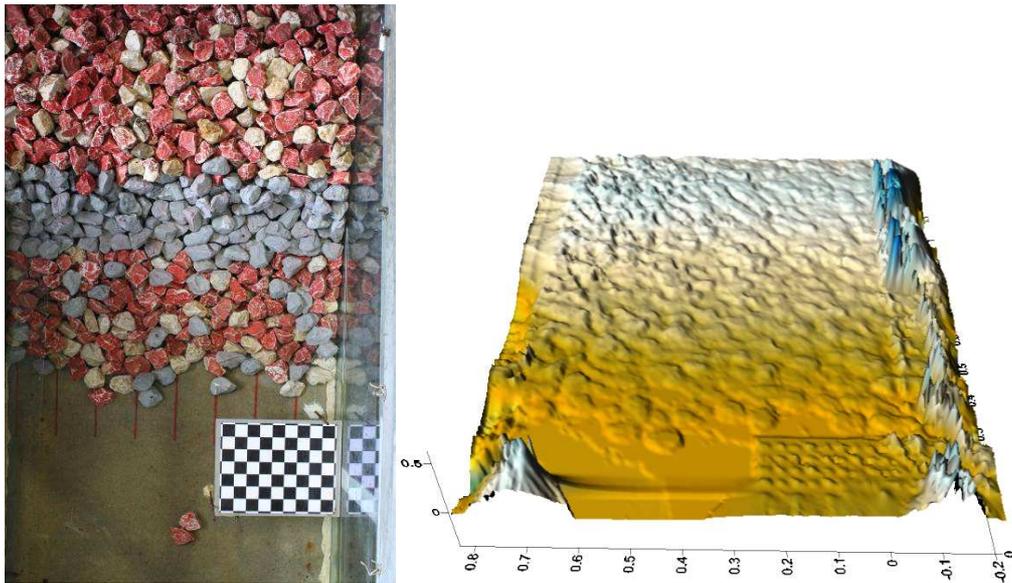


Figura 15 - Série de ensaios B. Evolução do Perfil P4 entre o levantamentos inicial (L0) e final (L17).

Os levantamentos da série de ensaios C foram excluídos do estudo, dado que entre os levantamentos L3 e L4 se verificou um aumento abrupto do dano médio medido, não concordante com o incremento do dano realmente observado. Tal aumento parece coincidir com o facto de os levantamentos L0 a L3 e L4 a L18 terem sido realizados em dias distintos, existindo a possibilidade de a calibração das câmaras no segundo dia ter sofrido alguma distorção, originando parâmetros diferentes e causado alguma distorção no referencial (Figura 16).

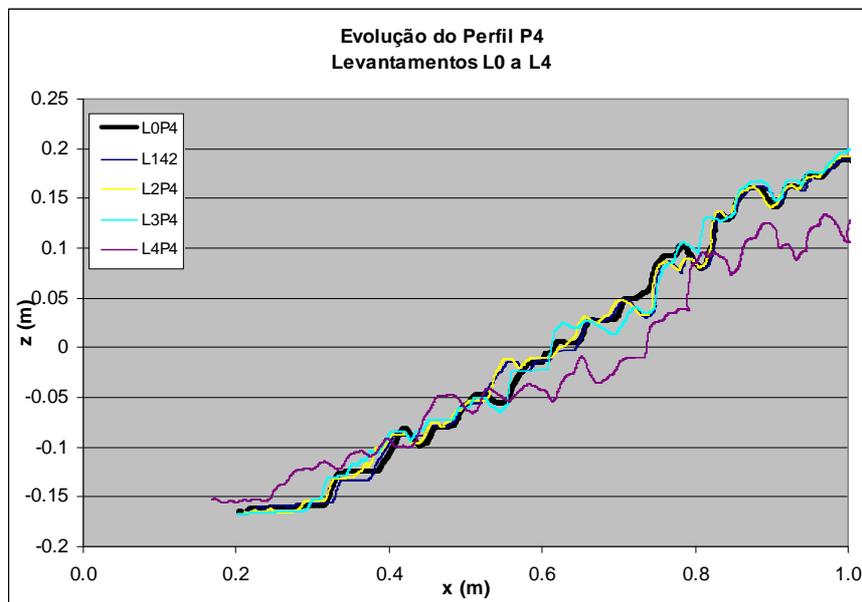


Figura 16 - Série de ensaios C. Evolução do Perfil P4 entre os Levantamentos L0 (inicial) e L4.

A Figura 17 representa um gráfico relativo a um levantamento realizado no final da série de ensaios A, com e sem água no canal. Estes tipo de levantamentos, realizados com o objectivo de se verificar a qualidade da correcção da refração na interface ar-água, por parte do software de reconstrução, revelaram que as diferenças entre ambos foram mínimas, tendo a máxima diferença de cotas registada, sido de cerca de 1,9 cm na zona do pé do talude (assinalada a vermelho). Assim sendo, poderá afirmar-se que a reconstrução realizada na parte submersa do talude corrige a refração com a fiabilidade necessária.

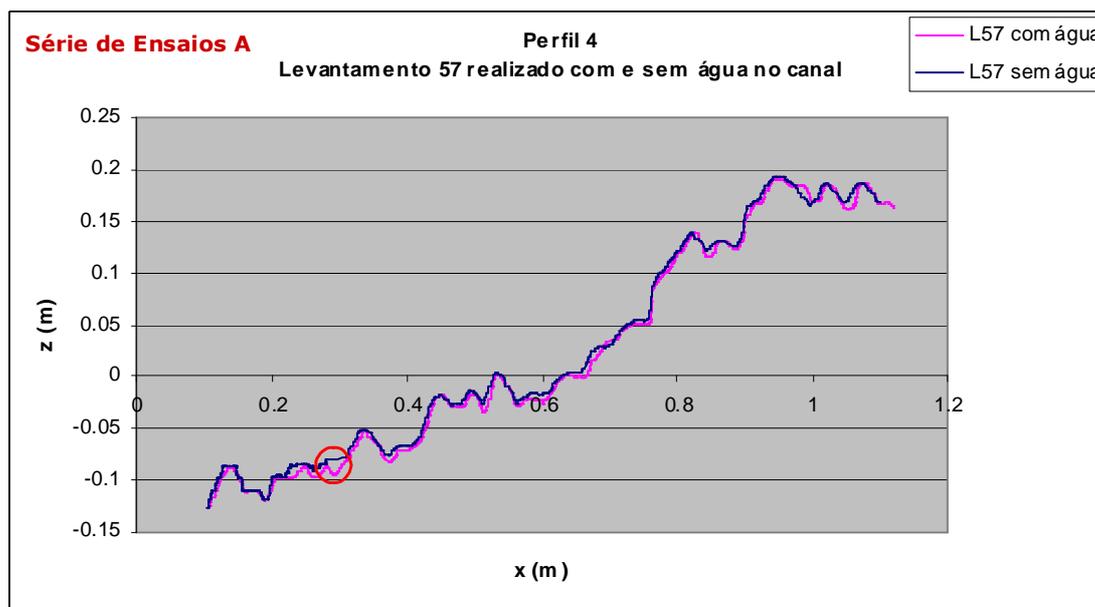


Figura 17 - Levantamentos comparativos do talude realizados com e sem água no canal.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Do presente estudo concluiu-se que o método estereofotogramétrico de levantamentos é um método de aplicação simples, apesar de exigir alguns cuidados durante a fase de calibração dos parâmetros das câmaras. É um método que faz uso de equipamento relativamente económico - apenas duas câmaras fotográficas. Permite ainda, após a conclusão dos ensaios e recorrendo aos ficheiros das reconstruções realizadas para cada levantamento, realizar extracções de novos perfis, em locais diferentes.

Dos ensaios realizados sobressaíram algumas recomendações quanto à utilização da técnica fotogramétrica e que deverão ser tidas em conta:

- Tal como recomendado na bibliografia relativa à utilização do software de calibração e reconstrução [3], a fase de calibração das câmaras é de extrema importância, dado que dela dependem a boa caracterização geométrica do cenário e a boa orientação dos eixos;
- O alvo, embora confinado lateralmente, é passível de sofrer alguns movimentos segundo os eixos dos x e y, o que poderá introduzir alguns erros na reconstrução. A referenciação de pontos fixos do modelo poderá ajudar a superar este problema;

- Eventuais mudanças de nível de água terão que ser contabilizadas aquando da obtenção dos perfis levantados. O levantamento de “perfis de controlo”, ou seja, levantamentos dos perfis praticamente a seco, onde a origem das cotas é na realidade o fundo do canal junto ao pé do talude são uma ajuda preciosa na resolução deste problema.
- Tratando-se de um ensaio em canal não deverão ser levantados perfis demasiado perto dos vidros, dado que a existência de reflexos dificultará a reconstrução nesses locais.

Continuidade do estudo

O presente trabalho baseia-se num estudo ainda em curso no LNEC, do qual tem surgido algum optimismo quanto à aplicação dos métodos fotogramétricos nos levantamentos efectuados. A sua utilização em ensaios em modelo físico, para a previsão da evolução do dano em quebra-mares de taludes seria uma ferramenta valiosa, tanto para a previsão das necessidades de obras de manutenção numa determinada fase da vida útil da estrutura de protecção de modo a prever estados de ruína, como para a previsão de custos de manutenção da obra ao longo da sua vida útil.

Salienta-se que este trabalho faz parte de um estudo que pretende, a curto prazo, realizar uma série de tarefas que permitam complementar o estudo, tais como:

- Conseguir uma amostragem significativa de perfis de modo a comparar os valores de dano medidos com os valores previstos pela fórmula de Melby.
- Lançar as bases para estender a utilização de fórmulas semelhantes a diferentes climas de agitação e ainda à avaliação da erosão de quebra-mares cujo manto protector incorpore elementos artificiais como cubos ou tetrápodos, dado que as fórmulas que se pretendem verificar basearam-se em dados obtidos em ensaios onde foi utilizado enrocamento.
- Apesar de, ao longo deste trabalho se ter desenvolvido algum software com vista a agilizar o pós-processamento dos dados resultantes das calibrações e reconstruções fotogramétricas, é de todo o interesse a criação de mais software auxiliar, de modo a sistematizar esse processamento, atendendo a que a quantidade de dados, quer respeitantes à agitação, quer respeitantes aos levantamentos, é normalmente volumosa e de tratamento moroso, merecendo, por isso, um tratamento mais expedito.

REFERÊNCIAS

- [1] Melby, J.A. “Damage Progression on Rubble-Mound Breakwaters”. Technical Report CHL-99-17. US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, USA (1999)
- [2] Troch, P. *User Manual: Active Wave Absorption System*. Gent University, Dep. Civil Engineering, Denmark (2005).
- [3] Ferreira, R., Costeira, J.P., Silvestre, C., Sousa, I. e Santos, J.A. *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 (2006), pp.107-116.
- [4] Broderick, L. e Ahrens, J. P. “Rip-rap stability scale effects”. Technical Paper 82-3, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS (1982)
- [5] Van der Meer J. W. *Design of Concrete Armour Layers*. Losada (ed.), Balkema, Rotterdam. *Coastal Structures '99 Conference. Vol. 1*. Santander, Spain (1999), pp. 213-221.