TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM VÍDEO PARA A ANÁLISE DA INTERAÇÃO ONDA-ESTRUTURA ENTRE QUEBRAMARES DESTACADOS E ESTRUTURAS PORTUÁRIAS Video Imagery Techniques for the Wave-Structure Interaction Analysis between Detached Breakwaters and Harbour Structures

HUGO GUEDES LOPES (1), FRANCISCO TAVEIRA PINTO (2), FERNANDO VELOSO GOMES (3) e RAFAEL MOLINA SÁNCHEZ (4) (1) Estudante de Doutoramento, FEUP/IPVC, Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, hglopes@fe.up.pt (2) Professor Catedrático, FEUP Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, fpinto@fe.up.pt (3) Professor Catedrático, FEUP, Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, vgomes@fe.up.pt (4) Professor Associado na Universidade Politécnica de Madrid,

c/ Profesor Aranguren, s/n 28040 - Madrid, rmolina@caminos.upm.es

Resumo

Os quebramares destacados são utilizados para proteção de zonas costeiras, especialmente em áreas em erosão. Estas estruturas dissipam a energia da agitação incidente que se aproxima da costa, contribuindo para a sua estabilização. Dependendo da cota do coroamento, pode verificar-se uma elevada transmissão sobre este tipo de estruturas (Lamberti *et al.,* 2005). O objetivo deste estudo é a análise da interação entre o quebramar destacado e a estrutura principal, através do estudo dos campos de velocidades, com recurso ao processamento de imagens de vídeo (Molina *et al.,* 2008).

Palavras-chave: Processamento de imagens de vídeo; modelação física; estruturas costeiras.

Abstract

Detached breakwaters are used for coastal protection, particularly on erosion areas. These structures dissipate the incident wave energy that approaches the coast, contributing for its stabilization. Depending on the crest level, significant transmission over the structure can be observed (Lamberti *et al.*, 2005). The objective of this study is to analyze the interaction between the detached breakwater and the main rubble-mound breakwater using new video imagery techniques (Molina *et al.*, 2008).

Keywords: Video imagery techniques; physical modelling; coastal structures.

1. Introdução

A dificuldade de otimização das características de quebramares destacados, está intimamente ligada com a caracterização adequada de todos os parâmetros envolvidos na interação entre a ação da agitação e as estruturas costeiras, sem recurso à modelação física. Diversos estudos têm vindo a ser desenvolvidos com o objetivo de caracterizar de forma adequada alguns parâmetros como a transmissão, a reflexão, e o galgamento, recorrendo a ensaios em modelo físico (Drei e Lamberti, 1999; Yamashiro et al., 1999; Kriezi et al., 1999; Gironella e Sanchez-Arcilla, 1999; Chapman et al., 1999; Ilic et al., 1999; Stamos et al., 2001). Projetos como o VOWS (2000), OPTICREST (2001), DELOS (2004) e o CLASH (2005), tiveram também um papel muito importante. No que se refere ao galgamento o manual EUROTOP (2007), compilou anteriores manuais (Besley, 1999; Taw, 2002; Eak, 2002) e apresentou novas contribuições que resultaram de alguns dos projetos referidos anteriormente. Contudo, a maioria das fórmulas e aproximações foram desenvolvidas para estruturas de geometria "convencional".

A estrutura considerada neste trabalho, o Quebramar Norte do Porto de Leixões, é constituída por um quebramar de taludes protegido parcialmente por um quebramar submerso, Figura 1.

No passado, a Técnica de Anemometria Laser-Doppler (Taveira Pinto, 2001) foi utilizada para analisar os campos de velocidades nas proximidades de quebramares destacados. Mais recentemente, os sistemas PIV (Particle Image Velocimetry - Velocimetria por Processamento de Imagem) emergiram e a sua utilização em escoamentos em superfície livre tornou-se possível (Cowen *et al.*, 2003; Watanabe *et al.*, 2006).

Este estudo pretende, para além de caracterizar o escoamento entre o quebramar destacado e o quebramar principal, medir o galgamento e analisar a estabilidade da estrutura.

No presente artigo serão apresentados os resultados preliminares, para apoiar a aplicabilidade das técnicas utilizadas, bem como divulgar o interesse da sua aplicação em registos previamente adquiridos.



Figura 1. Secção transversal do quebramar norte do Porto de Leixões.

2. Ensaios em Modelo Físico e Ferramentas de Processamento de Imagem

O estudo do comportamento das estruturas costeiras requer normalmente o recurso a ensaios em modelo físico. A dificuldade de reproduzir convenientemente todos os parâmetros e condições importantes numa formulação teórica tem adiado a introdução de modelos numéricos em substituição dos modelos físicos.

Os modelos físicos são dispendiosos e demorados, mas na maioria dos casos fundamentais. As ferramentas computacionais têm vindo a auxiliar os investigadores há décadas, e a sua difusão tem vindo a crescer com o avanço tecnológico.

Diversas ferramentas estão atualmente disponíveis para suporte das técnicas convencionais, contribuindo para a melhoria dos conhecimentos da engenharia costeira.

A utilização de estruturas destacadas/submersas para proteger praias ou outras estruturas costeiras está a tornarse frequente um pouco por todo o mundo. Os mecanismos responsáveis pela dissipação da agitação nestas estruturas são conhecidos, e é possível encontrar alguns manuais na bibliografia, contudo é necessário contribuir para a otimização destas estruturas, tendo em atenção o regime de agitação local, a topografia, e as características do escoamento.

Existem diversas técnicas que permitem analisar os escoamentos (LDA, PIV, PTV, etc.). No projeto que se apresenta foi adoptada uma nova abordagem.

Apesar da existência de uma grande variedade de técnicas, procura-se neste trabalho desenvolver um conjunto de técnicas mais económicas e de simples aplicação, que permitam definir uma metodologia generalista e sem prérequisitos ao nível do equipamento utilizado, para analisar registos laboratoriais ou de campo.

São utilizadas técnicas de processamento de imagem de vídeo para analisar a interação onda-estrutura bem como as características do escoamento na vizinhança das estruturas.

O software ZEUS, em desenvolvimento na Universidade Politécnica de Madrid, é utilizado para analisar a interação onda-estrutura, enquanto ferramentas PIV são utilizadas para a caracterização dos campos de velocidade (componente não desenvolvida neste artigo).

3. Plano de Ensaios

Os ensaios em modelo foram planeados tendo por objetivo analisar a interação entre o quebramar destacado e o quebramar de taludes principal. Nesse sentido, foram definidas quatro fases de ensaio, caracterizadas por diferentes configurações:

Fase 1 - Quebramar destacado com cota de coroamento a +0.0m (Z.H.).

Etapa 1 - Ondas regulares Etapa 2 - Ondas irregulares

Fase 2 - Quebramar destacado com cota de coroamento a +2.0m (Z.H.).

Etapa 1 – Ondas regulares Etapa 2 – Ondas irregulares

Fase 3 - Quebramar destacado a uma distância do quebramar principal 50% superior à actual.

Etapa 1 – Ondas regulares Etapa 2 – Ondas irregulares

Fase 4 - Quebramar destacado com uma largura de coroamento 50% superior à actual.

Etapa 1 – Ondas regulares Etapa 2 – Ondas irregulares

Cada fase inclui duas etapas (Quadro 1 e Quadro 2) e cada etapa contempla três níveis de maré distintos: +0.0m (Z.H.), +2.0m (Z.H.) e +4.0m (Z.H.).

4. Ensaios em Modelo Físico

Os ensaios em modelo reduzido foram efetuados no tanque de ondas do Laboratório de Hidráulica da Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Figura 2.

O tanque de ondas tem 28.0m de comprimento, por 12.0m de largura, e 1.2m de profundidade. Para a realização dos ensaios bidimensionais, do quebramar Norte do porto de Leixões, foi construído no seu interior um canal lateral com 0.75m de largura.

O modelo foi construído à escala 1:60, tendo sido colocadas 4 sondas a barlamar da estrutura destacada, para controlo da agitação incidente e determinação da reflexão, e uma sonda entre a estrutura destacada e o quebramar principal. Quadro 1. Ondas regulares testadas (valores em protótipo e em modelo).

Quadro 2. Ondas irregulares testadas (valores em protótipo e em modelo – espectro jonswap).

(Protótipo)		(Modelo)	
H (m)	T (s)	H (m)	T (s)
2.0	13	0,033	1.68
4.0	13	0.067	1.68
6.0	13	0.100	1.68
8.0	13	0.133	1.68
10.0	13	0.167	1.68
4.0	16	0.067	2.07
6.0	16	0.100	2.07
8.0	16	0.133	2.07
10.0	16	0.167	2.07
12.0	16	0.200	2.07
14.0	16	0.233	2.07
4.0	20	0.067	2.58
6.0	20	0.100	2.58
8.0	20	0.133	2.58
10.0	20	0.167	2.58
12.0	20	0.200	2.58
14.0	20	0.233	2.58
6.0	24	0.100	3.10
8.0	24	0.133	3.10
10.0	24	0.167	3.10
12.0	24	0.200	3.10
14.0	24	0.233	3.10

(Protótipo)		(Modelo)	
H (m)	T (s)	H (m)	T (s)
1.0	13	0.017	1.68
2.0	13	0.033	1.68
3.0	13	0.050	1.68
4.0	13	0.067	1.68
5.0	13	0.083	1.68
2.0	16	0.033	2.07
3.0	16	0.050	2.07
4.0	16	0.067	2.07
5.0	16	0.083	2.07
6.0	16	0.100	2.07
7.0	16	0.117	2.07
2.0	20	0.033	2.58
3.0	20	0.050	2.58
4.0	20	0.067	2.58
5.0	20	0.083	2.58
6.0	20	0.100	2.58
7.0	20	0.117	2.58
3.0	24	0.050	3.10
4.0	24	0.067	3.10
5.0	24	0.083	3.10
6.0	24	0.100	3.10
7.0	24	0.117	3.10



Figura 2. Tanque de ondas e Instalação Experimental.





Foram utilizadas duas câmaras GigE ethernet (UI 5220 e UI 5480 µeye – 0.8MPX com até 90 fps; 5MPx com até 14 fps, respetivamente) para analisar o escoamento durante os ensaios e registar o movimento das partículas para a aplicação PIV.

Os registos foram efetuados em duas secções da estrutura, na vizinhança do quebramar submerso e entre as duas estruturas, de modo a ser possível analisar de forma detalhada o escoamento na vizinhança das estruturas. A câmara de alta resolução (UI5480) foi utilizada para efetuar adicionalmente registos de maior detalhe em pequenos trechos da estrutura para uma análise posterior da resolução.

Em sistemas tradicionais de PIV e PTV é utilizada uma fonte luminosa para iluminar a área de interesse. Nos ensaios descritos no presente artigo, foi testada uma nova abordagem, recorrendo a luz branca convencional (2 focos de 300W). A utilização de focos de halogénio segue a ideia inicial de definir uma metodologia de análise mais económica e com um reduzido número de pré-requisitos, que possa ser aplicada a quaisquer condições de ensaio em canal de ondas com rebentação.

5. Resultados Preliminares

A metodologia apresentada é totalmente independente do processo de aquisição de vídeo, permitindo analisar vídeos adquiridos há vários anos. Apesar dessa opção, o rigor dos resultados dependerá da qualidade dos registos existentes, ao nível das condições de iluminação, do posicionamento da câmara, da calibração e da correção das distorções/aberrações.

Contudo, para um adequado processamento da informação é necessário cumprir correctamente um conjunto de tarefas. A calibração e a correção de aberrações é de extrema importância tendo em vista a obtenção de resultados quantitativos e não só qualitativos (Figura 3).

As tarefas a cumprir são as seguintes:

- Iluminação e posicionamento da câmara Boas condições de iluminação e um posicionamento otimizado da câmara podem melhorar a rigor dos resultados;
- Definição da área de análise A escolha adequada da área a registar em vídeo é fundamental, uma vez que apenas estarão disponíveis resultados nas áreas registadas;
- Aquisição do vídeo A aquisição pode ser efetuada com qualquer tipo de câmara, contudo a resolução e qualidade dos resultados estará dependente da sua qualidade;
- Calibração e correção de aberrações A correção de distorções e das aberrações das lentes constitui a primeira importante tarefa, tendo em vista a obtenção de resultados quantitativos (Figura 3);
- Processamento Diversas análises podem ser efetuadas com recurso ao software ZEUS, sendo cinco delas apresentadas no presente artigo;

6. Resultados qualitativos e quantitativos – Cumprindo as tarefas acima descritas é possível obter resultados quantitativos.



Figura 3. Exemplos de imagens adquiridas para a correcção de aberrações da lente.

As imagens que se seguem ilustram alguns exemplos do tipo de análise que se pode efetuar tendo por base registos vídeo de ensaios em modelo ou de campo.

A Figura 4 apresenta uma imagem do campo de visão da câmara antes do início dos ensaios. A Figura 5 apresenta uma análise "time exposure" que permite obter quantitativamente a envolvente do escoamento na duração total do ensaio. A Figura 6 ilustra uma análise da "média" do escoamento, o que permite determinar a posição mais frequente do nível da água durante o ensaio. Esta análise pode ser feita no formato original (RGB) ou separadamente no R (vermelho), G (verde) e B (azul). Através da separação colorimétrica é possível em determinadas condições realçar a linha da superfície livre. Durante os ensaios apresentados tal evidência não foi confirmada. Na imagem original RGB é possível verificar à direita uma elevação da superfície livre a sotamar da estrutura destacada.

A Figura 7 exibe a análise da "variância", que fornece informação acerca da região dinâmica e estática da área registada no vídeo. Nesta imagem, são visíveis duas regiões distintas: a zona de rebentação e a propagação da frente de onda, puramente turbulenta. Do lado esquerdo, pode ser observada a forma como a área de maior variância descreve a trajetória da rebentação da onda.

Do lado direito, a onda está totalmente rebentada e a densidade do escoamento é drasticamente reduzida devido à oclusão das bolhas de ar. O mesmo efeito pode ser observado na figura 5. A Figura 8 apresenta uma análise "time stack", que fornece informação acerca da variação da superfície livre, num alinhamento previamente definido, ao longo de todo o ensaio. A Figura 9 apresenta uma imagem resultante da análise da concentração de energia. Esta análise fornece informação acerca das áreas de maior dissipação energética no perfil transversal da estrutura capturado no registo vídeo durante um determinado ensaio.



Figura 4. Imagem do campo de visão no início de um ensaio.



Figura 5. Análise de "Time exposure" - definição da envolvente dinâmica durante um determinado ensaio.



Figura 6. Análise da "Média" – definição da posição mais frente do nível da água durante um ensaio, no formato original, e após separação nas componentes R (vermelho), G (verde), B (azul).

H. Guedes-Lopes, F. Taveira-Pinto, F. Veloso-Gomes e R. Molina-Sánchez



Figura 7. Análise da "variância" - definição da separação entre a região dinâmica e a região estática durante um ensaio.



Figura 8. Análise "Time stack" – a) Definição do alinhamento de controlo. b) "Time Stack": registo da variação da superficie livre durante um ensaio no alinhamento de controlo. c) Detecção da superfície livre. d) Série temporal obtida atraves do software ZEUS.



Figura 9. Imagem resultante da análise da concentração energética revelando as regiões de maior dissipação.

6. Conclusões

Os resultados preliminares demonstraram que as técnicas de processamento de imagem de vídeo podem ser muito úteis, aumentando significativamente os resultados obtidos a partir de um registo vídeo convencional de um ensaio em modelo físico.

O processamento de registos de vídeo de ensaios em modelo físico é possível, e permite uma elevada diversidade de análises (média, variância, *Time exposure, Time stack*, etc.) sem um custo significativo.

O estudo apresentado encontra-se ainda em curso, sendo a caracterização dos campos de velocidades também um tema a tratar, com recurso a técnicas de processamento de imagem, em particular o PIV.

Espera-se poder contribuir para a caracterização e otimização de quebramares submersos (nomeadamente ao nível da geometria e da distância à estrutura a proteger, tendo em consideração o clima de agitação local da obra a implantar, e as características do escoamento entre a estrutura principal e o quebramar destacado.

Referências

- Besley, P. (1999) Overtopping of seawalls design and assessment manual. R & D Technical Report W 178, Environment Agency, Bristol, ISBN 1 85705 069 X.
- Chapman, B., Ilic, S., Simmonds, D., Chadwick, A. (1999). *Physical model evaluation of the hydrodynamics produced around permeable breakwater shceme.* Proceedings of the International Conference on Structures, pp 803-812.
- Cowen, E.A., Sou, I.M., Liu, P.L.F., Raubenheimer, B. (2003) Particle image velocimetry measurements within a laboratory-generated swash zone. JOURNAL OF ENGINEERING MECHANICS-ASCE 129 (10):1119-1129.
- Drei, E., Lamberti, A. (1999). *Wave pumping effect of a submerged barrier*. Proc. International Conference on Coastal Structures, pp. 667–674.
- EAK (2002) Empfehlungen des Arbeitsausschusses Küstenschutzwerke. Die Küste. H. 65.
- Gironella, X., Sanchez-Arcilla, A., (1999). Hydrodynamic behavior of submerged breakwater. Some remarks based on experimental results. Proc., International Conference on Coastal Structures, pp. 891–896.

- Ilic, S., Pan, S., Chapman, B., Chadwick, A.J., O'Connor, B.A., MacDonald, N.J. (1999) Laboratory measurements of flow around a detached breakwater scheme. Proc. International Conference on Coastal Structures, pp. 813–822.
- Kriezi, E.E., Karambas, Th.V., Prinos, P., Tilegrafos, A., Gironella, X., Mosso, C. (1999) *Reflection and transmission for submerged and rubble-mound breakwater*. Proceedings of the International Conference on Coastal Structures, pp. 689–696.
- Lamberti, A., 2005. *Editorial paper on DELOS project*. Coastal Engineering 52, 815–818 (Elsevier).
- Molina, R., Ortega, M., Moyano, J., Losada, M. (2008) Analysis of the wave interaction with rubble-mound breakwaters using video imagery techniques. Proceedings of Mediterranean Days of Coastal and Port Engineering, PIANC, Palermo.
- Stamos, D.G., Hajj, M.R. (2001) Reflection and transmission of waves over submerged breakwaters. JOURNAL OF ENGINEERING MECHANICS-ASCE 127 (2):99-105.
- Taveira Pinto, F. (2001) Análise das Oscilações e dos Campos de Velocidades nas Proximidades de Quebramares Submersos, sob a Acção da Agitação Marítima, FEUP, Volume 1, 316 pp e Volume 2 (anexos), 323 pp. (in portuguese)
- TAW (2002) Technical Report *Wave run-up and wave overtopping at dikes.* Technical Advisory Committee for Flood Defence in the Netherlands (TAW). Delft.
- Watanabe, Y, Hideshima, Y., Shigematsu, T., Takehara, K. (2006) Application of three-dimensional hybrid stereoscopic particle image velocimetry to breaking waves. Measurement Science & Technology, 17(10), 1456-1469.
- Yamashiro, M., Yoshida, A., Irie, I. (1999) Experimental study on wave field behind a submerged breakwater. Proc. International Conference on Coastal Structures, pp. 675–682.

Sítios de Internet:

CLASH (2005) - http://www.clash-eu.org/

DELOS (2004) - http://www.delos.unibo.it/

OPTICREST (2001) - http://awww.ugent.be/opticrest/

VOWS (2000) - http://www.vows.ac.uk/