

# AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DO QUEBRAMAR VERTICAL LOWREB Experimental Study of the Behavior of the Vertical Breakwater LOWREB

CRINA-STEFANIA CIOCAN<sup>(1)</sup>, FRANCISCO TAVEIRA-PINTO<sup>(2)</sup>, LUCIANA DAS NEVES <sup>(3)</sup> e PAULO ROSA-SANTOS<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup>Mestre em Engenharia Civil, FEUP,  
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465, Porto, crina@fe.up.pt

<sup>(2)</sup>Professor Catedrático, FEUP,  
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465, Porto, fpinto@fe.up.pt

<sup>(3)</sup>Professor Auxiliar Convidado, FEUP,  
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465, Porto, lpneves@fe.up.pt

<sup>(4)</sup>Professor Auxiliar Convidado, FEUP,  
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465, Porto, pjsantos@fe.up.pt

## Resumo

Devido ao seu caráter refletor e apesar da sua maior complexidade e custo de construção, quando comparadas com as estruturas de paramento vertical, as estruturas verticais perfuradas são cada vez mais utilizadas para várias aplicações, tanto em ambientes marítimos calmos (cais de acostagem), como em ambientes marítimos mais energéticos (quebramar), com o objetivo de superar os inconvenientes típicos das estruturas verticais impermeáveis.

Para uma melhor compreensão do comportamento hidráulico à reflexão das estruturas perfuradas, foram realizados ensaios em modelo reduzido numa estrutura perfurada com três câmaras de dissipação, no tanque de ondas do Laboratório de Hidráulica da Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (LH-FEUP).

Os testes foram realizados a uma escala geométrica de 1:50. O plano de ensaios incluiu dois níveis de maré (baixa-mar e preia-mar), três alturas de onda para cada tipo, ou seja, ondas regulares (5,5 m, 6,0 m e 6,5 m) e ondas irregulares (3,0 m, 4,0 m e 5,0 m) e três períodos de onda (10 s, 14 s e 18 s). Para analisar a influência da porosidade e a disposição das ranhuras nas paredes perfuradas, foram testados para as mesmas condições de agitação marítima, três modelos. O desempenho da estrutura perfurada foi também comparado com o desempenho de uma estrutura de paramento vertical impermeável.

O estudo experimental permitiu concluir que a eficiência hidráulica à reflexão aumenta com o aumento da altura de onda para a situação de baixa-mar, e diminui com o aumento do período de onda, para a situação de preia-mar; os modelos ensaiados apresentaram uma melhoria na sua eficiência à reflexão, à medida que o nível de água aumentou.

**Palavras-chave:** Quebramares, estruturas perfuradas, reflexão, modelação física, LOWREB.

## Abstract

For their higher reflectivity and despite their higher complexity and cost of construction as compared to vertical structures, perforated structures are becoming more and more popular not only for quay walls inside sheltered harbors, but also for external caisson breakwaters, in order to partly overcome the typical drawbacks of vertical imperious structures.

In order to analyze the hydraulic behavior towards reflection of perforated structures, physical modelling tests were performed on a three chambers perforated structure, in the wave tank of the Hydraulics Laboratory of the Hydraulics, Water Resources and Environment Division, of the Faculty of Engineering of the University of Porto (LH-FEUP).

The physical model tests were carried out at a 1:50 scale. The tests' program included two tide levels (low tide and high tide), three wave heights for regular waves (5,5 m, 6,0 m and 6,5 m) and three significant wave heights for irregular waves (3,0 m, 4,0 m and 5,0 m) and three wave periods (10 s, 14 s and 18 s). To analyze the influence of porosity and the slots' arrangement on the perforated walls, three models were tested under the same conditions of wave propagation. The hydraulic efficiency with respect to reflection of the perforated structure was compared with the corresponding vertical solution, under the same test conditions.

The results of the experimental study indicate that the hydraulic efficiency of the structure increases with the increase of the wave height, for the low water level, and decrease with the increase of the wave period, for the high water level, and the tested models show an improvement on the hydraulic efficiency with respect to reflection for the higher tide level.

**Keywords:** Breakwaters, perforated structures, reflection, physical modeling, LOWREB.

## 1. Introdução

Os estudos de engenharia costeira têm como principal objetivo obter bons desempenhos na interação das estruturas costeiras com as condições e a agitação local incidente.

Os quebramares têm como objetivo principal a redução das ações da agitação marítima na linha de costa e a proteção das estruturas e equipamentos no interior da bacia portuária, melhorando as condições de manobra e permanência das embarcações em zonas portuárias.

Para cumprir esses objetivos, uma estrutura marítima deve sempre tentar assegurar com a sua construção que o fenómeno da reflexão é minimizado no interior das bacias portuárias e na sua vizinhança.

Assim, a minimização da reflexão das ondas em quebramares verticais tornou-se num desafio para a engenharia costeira e, consequentemente, para o desenvolvimento de estruturas verticais de baixa reflexão.

O conceito inovador de quebramar vertical perfurado com câmara dissipadora de energia foi apresentado pela primeira vez por Jarlan em 1961, com a primeira aplicação em Comeau Bay (Canadá), Figura 1.

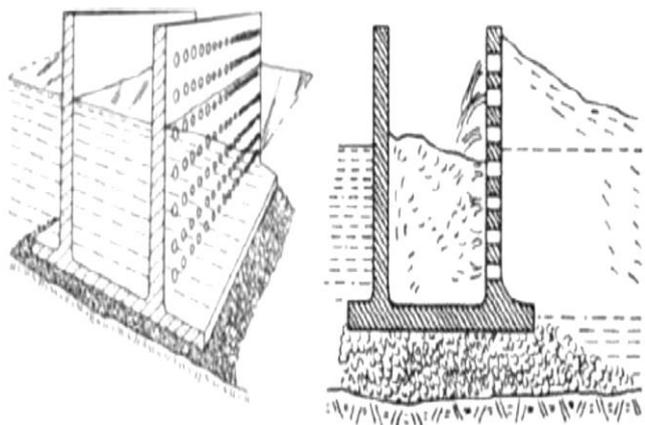


Figura 1. Quebramar perfurado do tipo Jarlan (Jarlan, 1961).

Devido à sua eficiência à reflexão e com o objetivo de melhorar o seu funcionamento hidráulico foram desenvolvidas, ao longo dos anos, várias tipologias com diferentes porosidades, geometrias e câmaras de dissipação.

Na maioria das vezes, particularmente para as estruturas perfuradas, a dificuldade de representação matemática dos diversos fenómenos que atuam e interagem com as estruturas costeiras, leva a que seja necessário recorrer a ensaios em modelo físico, para estudar o seu comportamento.

O objetivo do presente estudo é analisar o comportamento à reflexão da estrutura LOWREB através de ensaios experimentais, com o intuito de avaliar a eficiência hidráulica da estrutura para diferentes condições de agitação marítima e geometrias da estrutura.

## 2. Estrutura LOWREB: Comportamento Hidráulico e Dimensionamento

O conceito do quebramar vertical LOWREB foi apresentado por Pinto (2012), mas nunca foi testado.

Com base em vários estudos realizados em modelos de estruturas perfuradas ao longo dos anos, e, tendo em conta os intervalos correspondentes às porosidades das paredes perfuradas e aos comprimentos relativos das câmaras dissipadoras, apresentados por Oumeraci *et al.* (2001) para estruturas perfuradas, foi desenvolvido um quebramar vertical com três câmaras dissipadoras de comprimentos iguais, paredes com diferentes porosidades decrescentes (sentido de barlar-sotamar) e descarregadores interiores, Figura 2.

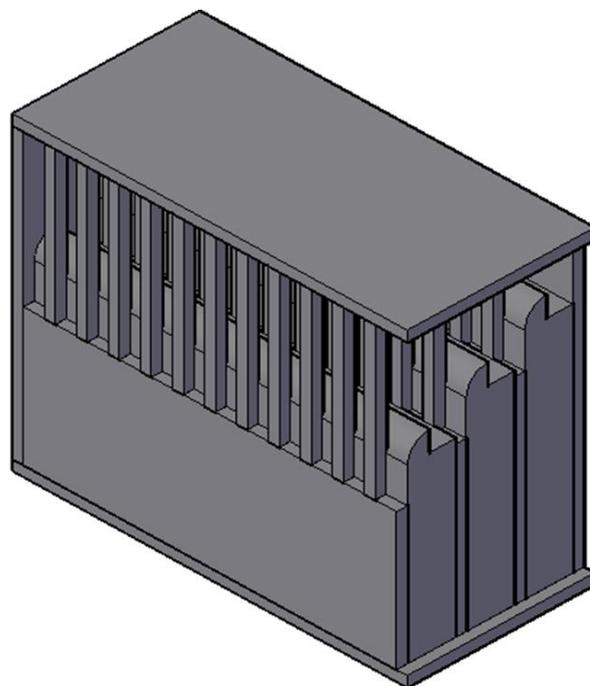


Figura 2. Esquema 3D do quebramar vertical LOWREB.

As estruturas verticais perfuradas caracterizam-se por possuírem uma câmara dissipadora da energia incidente antecedida de uma parede perfurada a barlar. O princípio de funcionamento deste tipo de estrutura consiste na reflexão parcial das ondas incidentes, sendo a restante energia transmitida para o interior da câmara dissipadora, através das aberturas presentes na parede perfurada, onde será de novo refletida parcialmente, devido ao contacto com a parede posterior da câmara e dissipada pelo galgamento do descarregador. A dissipação de energia nestas estruturas perfuradas é causada, principalmente, pela turbulência provocada pela interação entre o escoamento incidente e refletido, pela ressonância, pela diferença de nível de água à frente da estrutura e no interior da câmara dissipadora e pelo galgamento. Ou seja, quanto maior for a diferença do nível de água entre os dois lados da parede perfurada, maior será a dissipação de energia.

### 2.1. Eficiência hidráulica

Devido aos pormenores construtivos, as estruturas perfuradas exigem mais cuidado no seu dimensionamento do que as estruturas maciças. De modo a entender-se o comportamento hidráulico e a capacidade dissipadora das estruturas perfuradas, têm sido estudados os fenómenos hidrodinâmicos provocados pelas aberturas da parede vertical e pela câmara de dissipação.

A eficiência hidráulica de uma estrutura é avaliada através do coeficiente de reflexão, que, no caso de estruturas perfuradas, deve variar entre 0,4 e 0,7 para que a estrutura seja considerada eficiente sob o ponto de vista da reflexão.

Após a realização de vários estudos em modelo físico de estruturas perfuradas, Oumeraci *et al.* (2001) chegaram a algumas conclusões genericamente válidas para todos os tipos de estruturas perfuradas.

Como foi referido, a dissipação de energia incidente deve-se a diversos mecanismos que ocorrem dentro das câmaras dissipadoras das estruturas perfuradas, tal como a ressonância e a turbulência.

Fatores como a porosidade das paredes perfuradas, profundidade e configuração interior das câmaras de dissipação também influenciam a dissipação da energia incidente, ou seja, determinam a sua eficiência hidráulica.

Como fator relacionado com as características da agitação marítima, determinante para a capacidade de dissipação de uma estrutura perfurada, destaca-se o período de onda (T), ou seja, o comprimento de onda (L).

Com base em estudos realizados com vários modelos de estruturas perfuradas, com uma, duas ou mais câmaras de dissipação, com diferentes comprimentos das câmaras e diferentes porosidades das paredes perfuradas, foram estabelecidos dois intervalos válidos para que esta tipologia de estruturas seja eficiente do ponto de vista hidráulico. Um dos intervalos refere-se à porosidade da parede perfurada que deve variar entre 15% e 40%; o outro limita o comprimento da câmara dissipadora entre L/10 e L/4.

No âmbito do projeto PROVERBS, foi desenvolvida uma formulação para a determinação do coeficiente de reflexão, dependendo unicamente do comprimento relativo da câmara dissipadora (B/L), Figura 3. A seguinte equação representa a formulação matemática obtida para o cálculo do coeficiente de reflexão:

$$C_R = 18,6 \left(\frac{B}{L}\right)^2 - 7,3 \left(\frac{B}{L}\right) + 0,98 \quad [1]$$

**2.2. Cálculo das forças atuantes**

O processo de cálculo das forças atuantes sobre a estrutura constitui um processo iterativo com o objetivo final da determinação das dimensões da estrutura (altura, largura e comprimento), de modo a que os fatores de segurança ao deslizamento, derrube e tensão na base, sejam superiores a 1,5, 1,3 e 1,2, respetivamente.

As estruturas foram pré-dimensionadas pelo método de Goda para estruturas maciças (C<sub>r</sub>=1), atendendo aos critérios de estabilidade estrutural e à eficiência hidráulica à reflexão. De seguida, foram aplicados os vários métodos para o cálculo das forças atuantes em estruturas perfuradas.

O Quadro 1 apresenta as condições de agitação marítima de referência consideradas nesta análise e a largura total da estrutura determinada pelo método de Goda.

Quadro 1. Condições de agitação marítima.

d (m)	15	20	25	30	35	40
H <sub>s</sub> (m)	3	4	5	6	7	8
H <sub>des</sub> = 1,8H <sub>s</sub> (m)	5	7	9	11	13	14
T (s)	11	12	13	14	15	17
B <sub>estrutura</sub> (m)	12	17,5	20	23	26,5	31

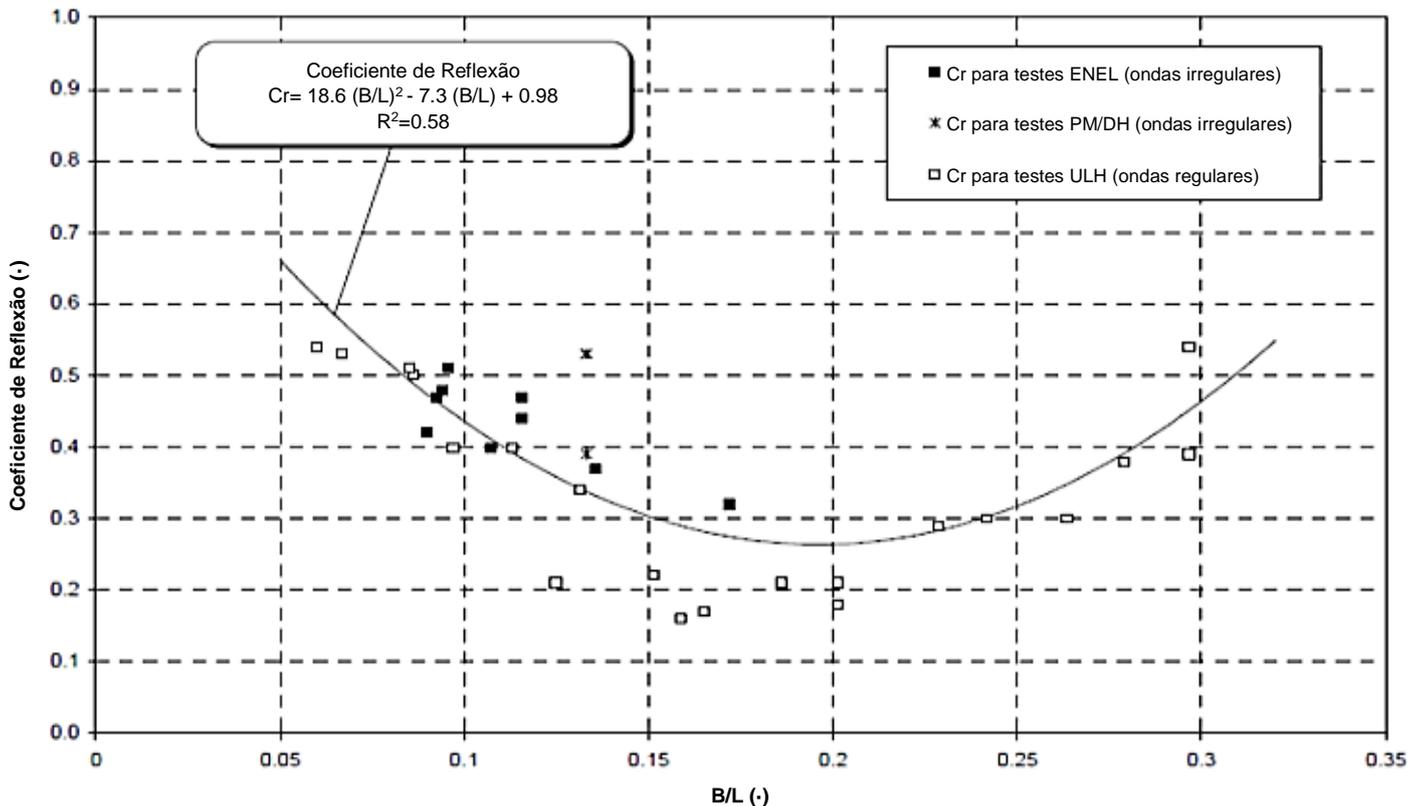


Figura 3. Coeficientes de reflexão em função do comprimento relativo das câmaras (Oumeraci *et al.*, 2001).

Os valores obtidos pela aplicação dos vários métodos à estrutura perfurada foram comparados entre si e também com o método de Goda para estruturas verticais, sendo, assim, verificada a estabilidade estrutural. Uma descrição mais detalhada sobre o dimensionamento da estrutura e os métodos utilizados pode ser encontrada em Ciocan (2014).

A Figura 4 apresenta as resultantes forças horizontais atuantes sobre a estrutura em função da profundidade de água, calculadas pelos vários métodos de dimensionamento considerados no presente estudo.

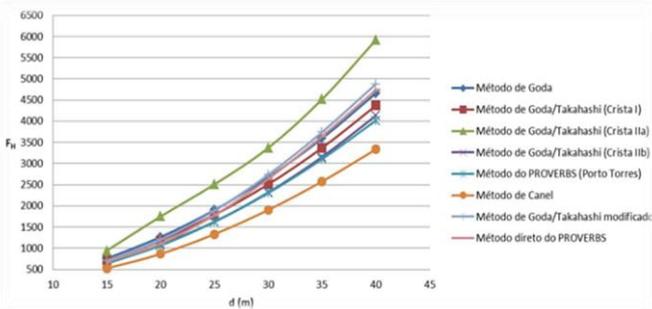


Figura 4. Resultantes das forças horizontais atuantes.

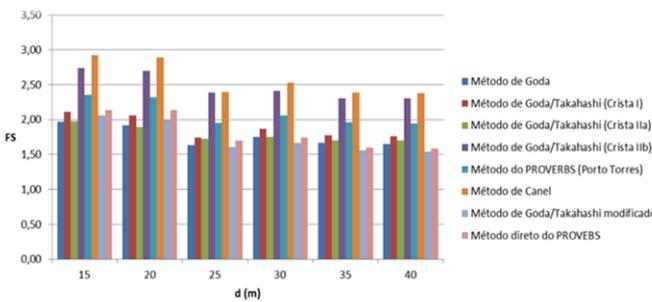


Figura 5. Fatores de segurança ao deslizamento.

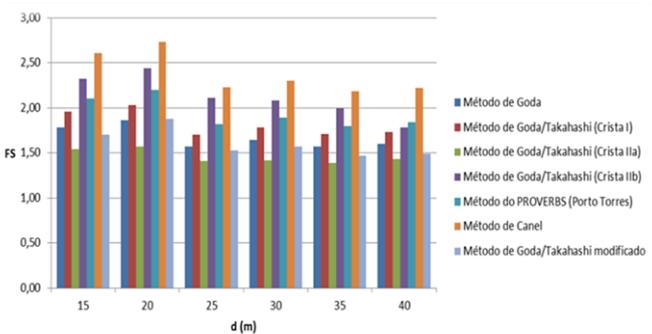


Figura 6. Fatores de segurança ao derrube.

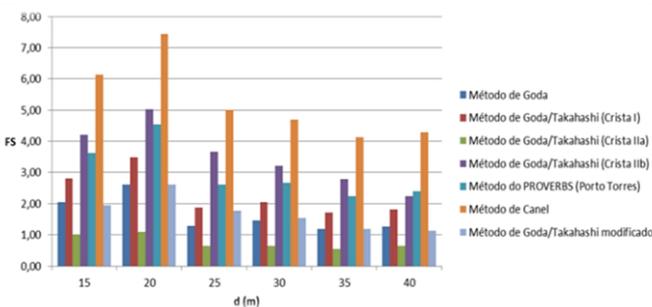


Figura 7. Fatores de segurança em relação às tensões na base.

As Figuras 5 a 7 apresentam os coeficientes de segurança respetivos em relação ao deslizamento, derrube e tensões na base.

Efetuada uma análise comparativa dos resultados obtidos pelos vários métodos de dimensionamento para a mesma profundidade de água, pode concluir-se que os valores obtidos pelo método de Goda/Takahashi (Crista IIa) são os mais elevados. Pelo contrário, o método de Canel apresenta os valores mais baixos quando comparados com os outros métodos de dimensionamento, devido ao fator de redução aplicado à altura de onda que origina a redução das forças impulsivas. Os outros métodos apresentam valores relativamente próximos para profundidades de água entre 15 m e 20 m. Para profundidades de água superiores, há uma diferença entre os valores obtidos pelos vários métodos de dimensionamento que tende a aumentar com a profundidade de água.

### 3. Instalação Experimental

Os ensaios realizaram-se no tanque de ondas do Laboratório de Hidráulica (LH) da Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente (SHRHA) da Faculdade de Engenharia de Universidade do Porto (FEUP). O tanque de ondas possui 28 m de comprimento, 12 m de largura e 1,2 m de profundidade. No interior do tanque localiza-se o sistema de geração de ondas, desenvolvido pelo Laboratório HR Wallingford, U.K., constituído por 16 pás independentes, ocupando toda a largura do tanque. Dependendo do estado de agitação pretendido, as pás podem funcionar em uníssono ou com movimentos independentes entre elas.

O modelo foi testado num canal com cerca de 80 cm de largura, assegurando deste modo que a pá geradora está compreendida entre os limites do canal. Para minimizar as eventuais perdas que pudessem ocorrer, o canal foi prolongado até à pá do batedor, Figura 8.

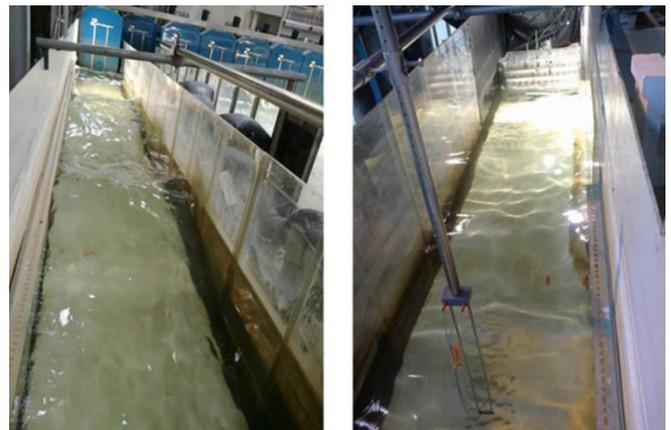


Figura 8. Canal de ondas, vista dos batedores (esquerda) e implantação do modelo (direita).

#### 3.1. Construção do modelo

Na impossibilidade de testar a eficiência da estrutura para todas as profundidades para as quais foi realizado o pré-dimensionamento, foi analisado o comportamento hidráulico à reflexão da estrutura pré-dimensionada para a profundidade de 20 m.

A Figura 9 representa a seção transversal da estrutura ensaiada com as principais dimensões em valores de protótipo, em metros.

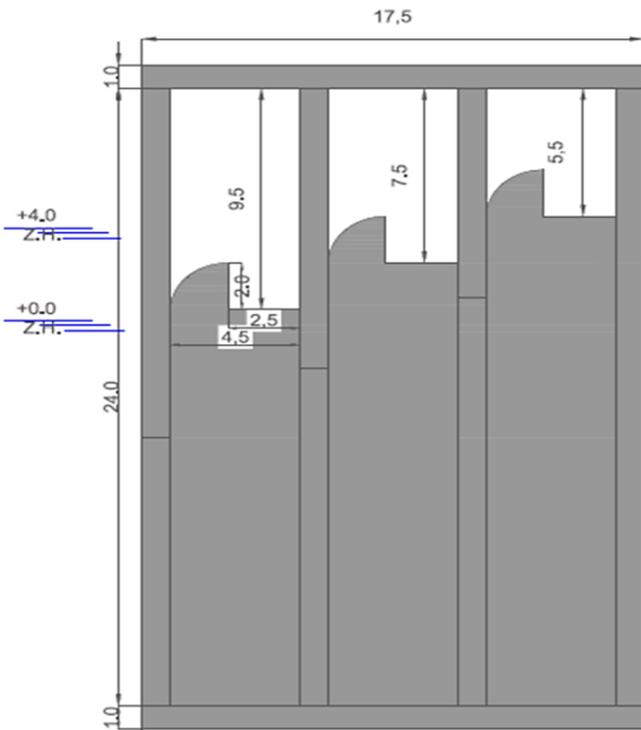


Figura 9. Seção transversal do quebramar vertical LOWREB.

Foi adotada uma escala geométrica para o modelo de 1:50, tendo em conta as limitações geométricas e mecânicas do tanque e do gerador de ondas, respetivamente, bem como a minimização dos efeitos de escala no modelo, de forma a retratar, o mais fielmente possível, as condições reais de funcionamento da estrutura. Assumindo como ação predominante a ação das ondas gravíticas, o critério de semelhança considerado mais importante para os fenômenos em estudo, foi o critério de semelhança de Froude.

O modelo físico foi construído com o objetivo de avaliar a influência da estrutura perfurada nos coeficientes de reflexão. A estrutura foi construída em acrílico e betão. O acrílico foi utilizado para a construção do caixão, enquanto o betão foi utilizado como material de enchimento para dar peso à estrutura e para assegurar a estabilidade da mesma.

### 3.2. Equipamento de medição

Os equipamentos utilizados para a medição das condições de ensaio foram: quatro sondas hidrodinâmicas, quatro sondas de pressão e uma câmara de vídeo. As quatro sondas hidrodinâmicas foram colocadas a barlar do modelo, para a obtenção da agitação incidente e a determinação da reflexão (Figura 10).

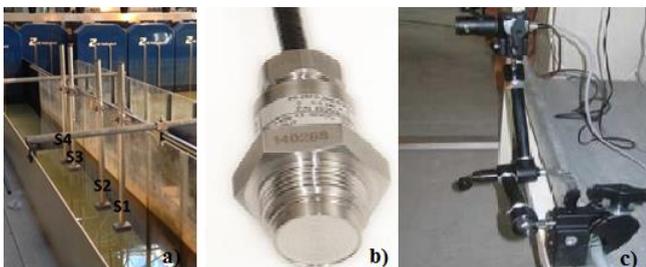


Figura 10. Equipamento de medição.

O posicionamento de cada sonda de pressão foi escolhido com o intuito de distribuir as sondas pelas quatro paredes divisórias da estrutura e, deste modo, medir a variação da pressão hidrodinâmica à medida que a água passava através das três câmaras dissipadoras.

A câmara de vídeo GigE ethernet UI 5220 de 0,8 megapixéis foi utilizada para registar o escoamento durante os ensaios, bem como o movimento das partículas para uma possível aplicação do PIV. Para iluminação da área de interesse recorreu-se a dois focos de halogéneo convencionais.

Os dados adquiridos com as sondas de pressão e com a câmara de vídeo não foram neste artigo.

## 4. Procedimento Experimental

Como já foi referido, os ensaios foram organizados com o objetivo de analisar a eficiência hidráulica da estrutura perfurada tendo em consideração a influência que a agitação marítima e as variáveis geométricas têm na reflexão da mesma. Neste sentido, foram definidos três modelos com diferentes configurações do quebramar perfurado a que correspondem resumidamente as características observadas na Figura 11.

Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Extensão da câmara de dissipação: 4,5 m		
Descarregadores internos: 2 m de desenvolvimento e altura		
Porosidade: 24%, 19%, 14% e 0%		Porosidade: 29%, 23%, 17% e 0%
Ranuras verticais: 1 m de largura espaçadas de 2 m entre si		Ranuras verticais: 1 m de largura espaçadas de 4 m entre si
Disposição em paralelo		Disposição em zig-zag

Figura 11. Modelos testados.

O modelo 1 representa a estrutura inicialmente dimensionada. Visto que a porosidade da parede perfurada é uma das variáveis determinantes na eficiência hidráulica deste tipo de estrutura, foram construídos os modelos 2 e 3 de forma a avaliar a sua importância na reflexão das ondas.

No presente trabalho não foi possível estudar a influência da extensão das câmaras dissipadoras, um outro fator importante na eficiência hidráulica das estruturas perfuradas.

Os modelos foram testados para dois níveis de maré distintos: +0,0 m (Z.H.) e +4,0 m (Z.H.), sendo utilizada, em cada fase de ensaios, quer agitação regular, Quadro 2, quer agitação irregular, Quadro 3.

As condições de ensaio foram definidas para avaliar o funcionamento da estrutura para condições de agitação inferiores e superiores às de dimensionamento.

Visto que todos os estudos sobre estruturas perfuradas indicam que a sua eficiência diminui com o aumento do período de onda, os seus valores foram escolhidos de forma a aumentar o intervalo de aplicação em relação a estes parâmetros.

Quadro 2. Ondas regulares testadas (valores em protótipo e em modelo).

Protótipo		Modelo	
T (s)	Hi (m)	T (s)	Hi (m)
10	5,5	1,41	0,11
	6,0		0,12
	6,5		0,13
14	5,5	1,98	0,11
	6,0		0,12
	6,5		0,13
18	5,5	2,55	0,11
	6,0		0,12
	6,5		0,13

Quadro 3. Ondas irregulares testadas (valores em protótipo e em modelo).

Protótipo		Modelo	
T(s)	Hi (m)	T(s)	Hi (m)
10	3	1,41	0,06
	4		0,08
	5		0,10
14	3	1,98	0,06
	4		0,08
	5		0,10
18	3	2,55	0,06
	4		0,08
	5		0,10

A análise da eficiência hidráulica à reflexão foi feita comparando os coeficientes de reflexão obtidos para a estrutura perfurada com uma estrutura de paramento vertical, com um coeficiente de reflexão teórico unitário, materializada com a colocação de uma placa de acrílico no paramento frontal do modelo.

Para os testes realizados com ondas regulares foram utilizadas, aproximadamente, 150 ondas, enquanto nos testes com ondas irregulares foi utilizada uma sequência temporal de  $2^{11}$ , que corresponde a cerca de 280 - 300 ondas.

A duração dos ensaios foi determinada de modo a garantir que teriam uma duração suficiente para uma correta reprodução do comportamento da estrutura e ao mesmo tempo, garantirem que os estados de agitação irregular são reproduzidos com rigor suficiente.

## 5. Resultados

Os valores dos coeficientes de reflexão são apresentados para cada nível de maré, em comparação com uma parede vertical para os vários períodos de onda.

O coeficiente de reflexão obtido nos testes com a parede vertical varia entre 0,87 e 0,93. Como referência para o coeficiente de reflexão para estruturas verticais contínuas, Goda (1985) aponta valores entre 0,9 e 1,0.

A existência de eventuais perdas de energia que ocorreriam nas paredes laterais do canal, possíveis galgamentos e rebentação das ondas incidentes devido às situações de agitação mais energéticas consideradas nos ensaios realizados, podem ter sido as razões pelas quais não se obtiveram coeficientes de reflexão mais próximos ou até mesmo iguais à unidade.

### 5.1. Agitação regular

Para períodos de onda de 10 s, os modelos 1 e 2 apresentam uma variação crescente do coeficiente de reflexão, à medida que a altura de onda aumenta, ao contrário do modelo 3 para qual o coeficiente de reflexão diminui com o aumento da altura de onda, na situação de preia-mar, Figura 12.

Para a baixa-mar, o modelo 1 apresenta o melhor comportamento à reflexão, a sua eficiência vai aumentando com o aumento da altura de onda. Para períodos de onda de 14 s e para o nível máximo de água, todos os modelos apresentam a mesma variação e valores muito próximos dos coeficientes de reflexão.

No caso da baixa-mar, para ondas pequenas, o modelo 3 apresenta a melhor eficiência hidráulica mas, à medida que a altura de onda aumenta, também aumenta a eficiência hidráulica dos outros dois modelos, tornando-se assim mais eficientes.

O coeficiente de reflexão aumenta com o aumento do período de onda, por isso, para ondas de período de 18 s os três modelos apresentam valores elevados do coeficiente de reflexão, tanto para a preia-mar, como para a baixa-mar. O modelo 3 apresenta uma melhoria na eficiência hidráulica com o aumento da altura de onda, Figura 13. Para períodos menores, a maior parte da energia está concentrada na parte superior da coluna de água e, por isso é, mais facilmente dissipada. À medida que o período aumenta o coeficiente de reflexão também aumenta, exceto para a situação de baixa-mar, em que os coeficientes de reflexão são muito próximos e não apresentam uma tendência clara.

O nível máximo de água conduz a uma melhor eficiência hidráulica para todas as condições de agitação testadas bem como para todos os modelos

### 5.2. Agitação irregular

Todos os modelos apresentam valores próximos para os coeficientes de reflexão, que aumentam à medida que a altura de onda significativa aumenta, para  $T_p=10$  s, exceto o modelo 1, que apresenta um súbito aumento dos mesmos para alturas de onda superiores a 4 m. Para  $T=14$  s, o coeficiente de reflexão é aproximadamente constante para as três alturas de onda significativas testadas e com valores próximos para os vários modelos. Apesar dos valores muito próximos para os coeficientes de reflexão, pode concluir-se que o modelo 1 apresenta a melhor eficiência hidráulica, ao contrário do modelo 2, que apresenta os valores dos coeficientes de reflexão mais elevados, Figura 14. À medida que o período de onda de pico aumenta, o coeficiente de reflexão para o nível máximo de água (PM), também aumenta; deste modo, a diferença entre estes valores diminui entre os dois níveis de água. Para  $T_p=18$  s os coeficientes de reflexão apresentam valores próximos para as situações de baixa-mar e preia-mar, Figura 15.

Todos os modelos apresentam uma diminuição do coeficiente de reflexão com o aumento da altura de onda significativa, para períodos de onda de pico de 18 s. Para alturas de onda significativas superiores, neste caso  $H_s=5$  m, o modelo 1 mostrou uma melhor eficiência hidráulica quando comparado com os outros dois.

Em contrapartida, para alturas de onda inferiores,  $H_s = 3$  m, o modelo 2 é o que apresenta uma melhor eficiência à reflexão.

Para todas as alturas de onda testadas, o coeficiente de reflexão no modelo 3 apresenta valores superiores.

Todas as conclusões supracitadas referem-se ao nível de preia-mar. Para a situação de baixa-mar, o coeficiente de reflexão diminui com o aumento da altura de onda significativa, para o mesmo período de onda de pico, para os três modelos.

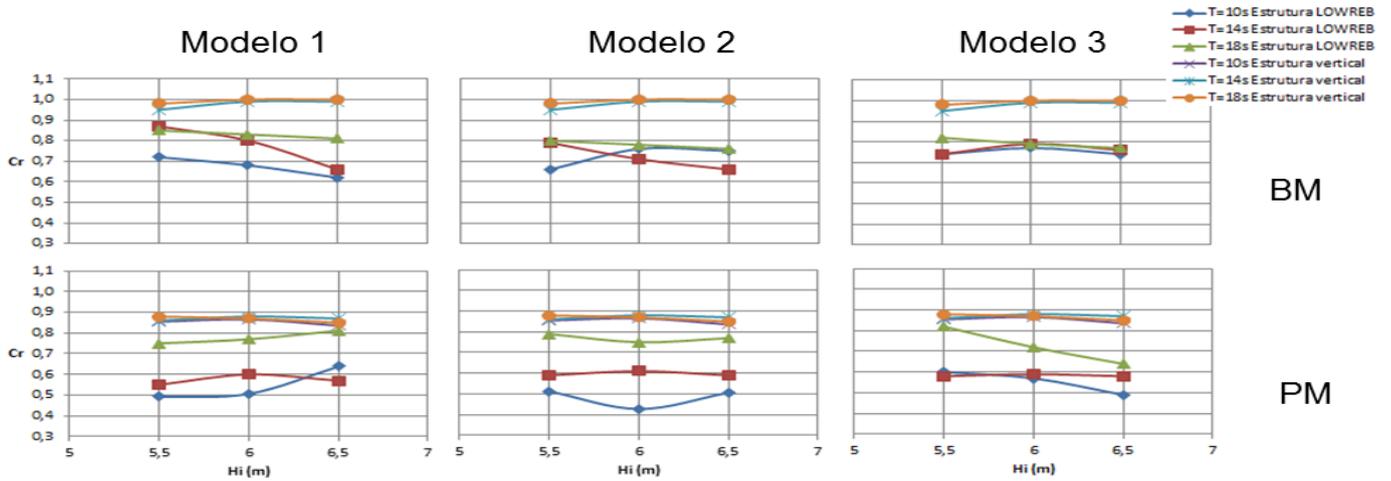


Figura 12. Coeficientes de reflexão (agitação regular) para os 3 modelos em baixa-mar (BM) e preia-mar (PM).

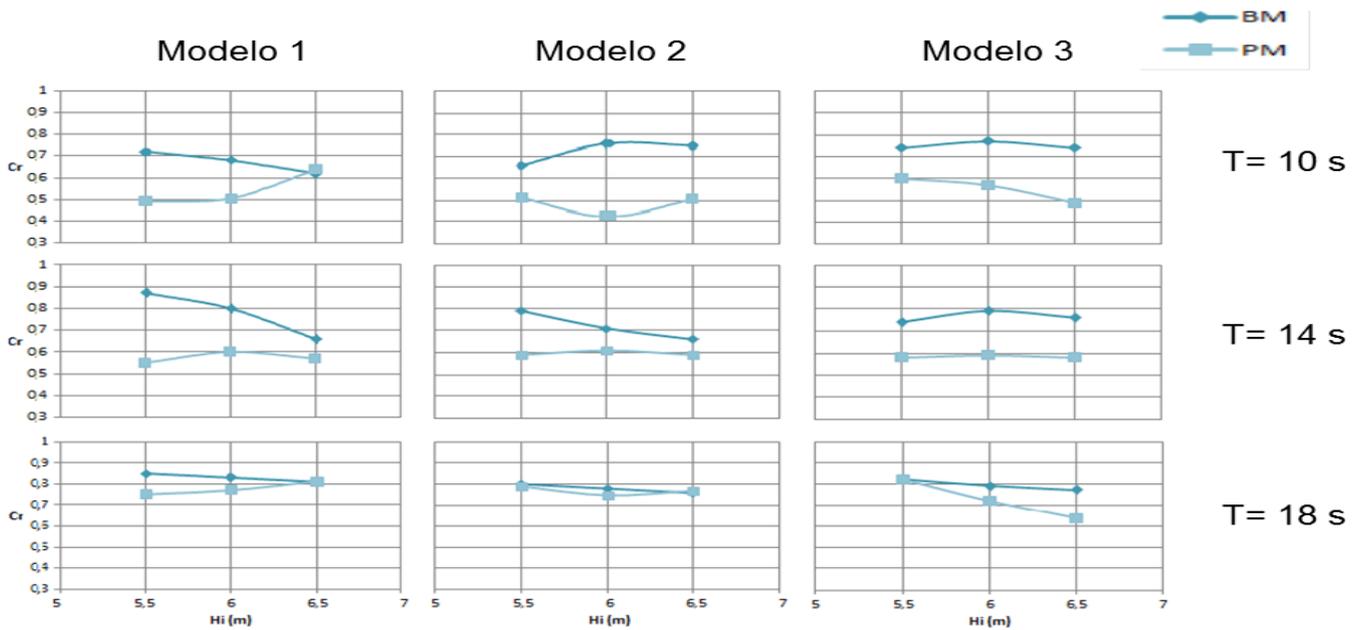


Figura 13. Coeficientes de reflexão para os 3 modelos e comparação entre os dois níveis de maré (agitação regular).

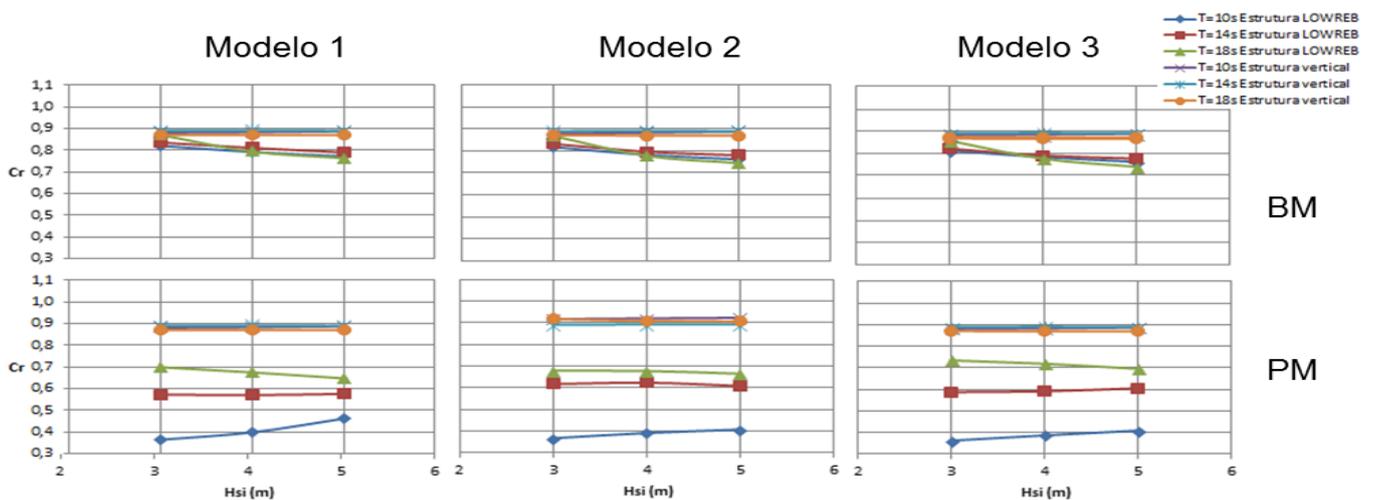


Figura 14. Coeficientes de reflexão (agitação irregular) para os 3 modelos em baixa-mar (BM) e preia-mar (PM).

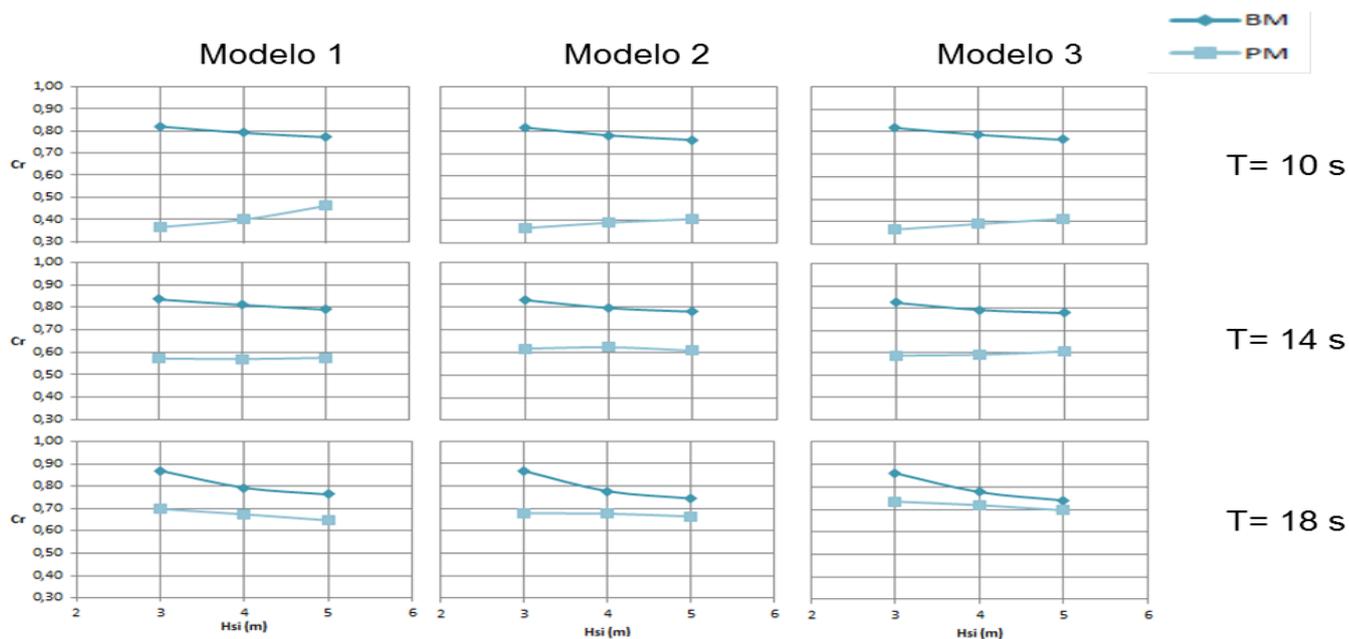


Figura 15. Coeficientes de reflexão para os 3 modelos comparação entre os dois níveis de maré (agitação irregular).

Em termos da variação do coeficiente de reflexão para os vários períodos de onda, não foi realizada nenhuma comparação entre modelos, visto que os valores apresentados são muito próximos e não apresentam uma tendência clara.

## 6. Conclusões

Com o presente estudo pretendeu-se principalmente avaliar a eficiência hidráulica à reflexão do quebramar vertical LOWREB e analisar a influência da estrutura na resolução do problema em estudo, ou seja, a elevada reflexão dos quebramares verticais. Apesar da estrutura não ter sido otimizada em termos de conceção, os resultados são francamente positivos quanto ao funcionamento da estrutura LOWREB. O estudo laboratorial permitiu obter experimentalmente os coeficientes de reflexão do quebramar LOWREB para diferentes níveis de água, períodos de onda, alturas de onda e porosidades das paredes.

Na generalidade dos testes realizados verifica-se uma melhoria da eficiência hidráulica da estrutura LOWREB à medida que o nível de água aumenta.

Para a situação de baixa-mar o coeficiente de reflexão diminui com o aumento da altura de onda incidente, enquanto para a situação de preia-mar o coeficiente de reflexão aumenta com o aumento do período de onda. A estrutura não apresenta uma melhoria significativa da eficiência hidráulica para o nível de baixa-mar quando comparada com uma estrutura vertical impermeável.

A pouca eficiência hidráulica da estrutura para a situação de baixa-mar deve-se ao facto de a onda não conseguir ultrapassar as três câmaras de dissipação. Para alturas de onda pequenas, a estrutura tem um comportamento próximo de uma estrutura vertical.

Devido à altura das câmaras dissipadoras e a sua disposição crescente no sentido barlar-mar-sotamar, a altura da onda torna-se um fator importante na dissipação de energia.

Assim, quanto maior for a altura de onda maior a eficiência hidráulica, pois se a altura de onda não for suficiente para alcançar os três descarregadores existentes nas câmaras, a energia dissipada será menor.

Como foi referido a eficiência hidráulica à reflexão é proporcional ao comprimento relativo da câmara dissipadora, ou seja, neste caso em concreto à medida que o período de onda aumenta, o comprimento da câmara (número das câmaras) também aumenta.

Para as condições de agitação testadas para o nível de baixa-mar, a dissipação de energia realiza-se só nas primeiras duas câmaras, sendo a primeira a mais frequente.

Observam-se passagens de água isoladas para a terceira câmara, mas que não tem muita influência na dissipação de energia global, Figura 16.

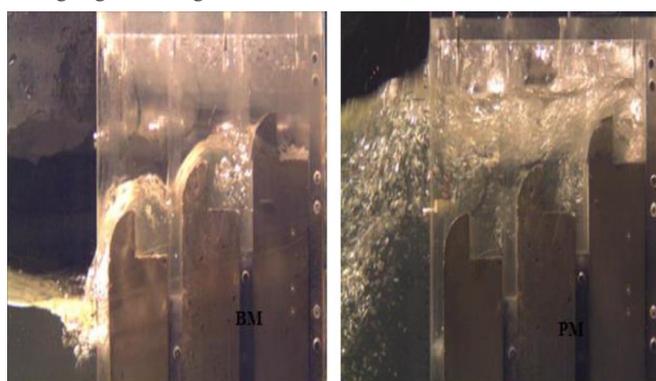


Figura 16. Imagens adquiridas durante os ensaios.

## Referências

- Ciocan, C. S. (2014). *Estudo do Quebramar Vertical Perfurado LOWREB*, Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil - Especialização em Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente. Cd-Rom. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto.

- Goda, Y. (1985), *Random Seas and Design of Maritime Structures*, Universidade de Tóquio, Japão.
- Jarlan, G.E. (1961), *A perforated vertical breakwater. The Dock and Harbour Authority*, Vol. 41, nº486. Londres, Inglaterra.
- Oumeraci, H., Kortenhaus, A., Allsop, W., de Groot, Maarten, Crouch, R., Vrijling, H., Voortman, H. (2001), *Probabilistic Design Tools for Vertical Breakwaters*, PROVERBS.
- Pinto, S.I. (2012), *Estrutura Portuárias Verticais Perfuradas*, Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil - Especialização em Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente. CD-Rom. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto.