



2^{as} JORNADAS

DE HIDRÁULICA, RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE



Universidade do Porto
FEUP Faculdade de Engenharia

SHRHA
SECÇÃO DE HIDRÁULICA,
RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE



OUTUBRO [2007]

ESTUDO EM MODELO FÍSICO DA EFICIÊNCIA HIDRÁULICA À REFLEXÃO DE BLOCOS VERTICAIS PERFURADOS Physical model study of the hydraulic performance of vertical hollowed blocks in terms of wave reflection

FERNANDO VELOSO-GOMES ⁽¹⁾, FRANCISCO TAVEIRA-PINTO ⁽²⁾, EMÍLIO BROGUEIRA-DIAS ⁽³⁾,
HUGO GUEDES LOPES ⁽⁴⁾ & PAULO ROSA SANTOS ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Professor Catedrático, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, vgomes@fe.up.pt

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

⁽³⁾ Administrador dos Portos do Douro e Leixões S.A., APDL,
Avenida da Liberdade, 4451-851 Leça da Palmeira, brogueira.dias@apdl.pt

⁽⁴⁾ Investigador, IHRH - FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, hglopes@fe.up.pt

⁽⁵⁾ Estudante de Doutoramento, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, pjrs@fe.up.pt

Resumo

Para o novo terminal multiusos do Porto de Leixões, actualmente em fase de construção no intradorso do molhe Sul, foi seleccionada uma solução estrutural do tipo gravítico, materializada pela sobreposição de blocos de betão simples de geometria inovadora e patenteada – os *Blocos NOREF*. Estes blocos permitem a constituição de um paramento acostável aberto (menos reflector) que procura melhorar, ou pelo menos não agravar, as condições de agitação numa bacia portuária, especialmente na vizinhança do cais, e reduzir os níveis de galgamento. Apesar desta solução já ter sido utilizada anteriormente num pequeno cais de pesca, a avaliação experimental da sua eficiência hidráulica, em termos de reflexão da agitação, não havia ainda sido testada.

Neste trabalho são apresentados os resultados do estudo em modelo físico da eficiência hidráulica à reflexão de um cais em blocos *NOREF*. A geometria dos blocos usados é a que consta do projecto de execução do terminal multiusos (*CONSULMAR*). Os testes foram realizados à escala 1:30, para dois desenvolvimentos de cais: 2,0 m (60,0 m no protótipo) e 0,5 m (15,0 m no protótipo). O plano de ensaios incluiu dois níveis de maré (maré média e preia-mar), quatro alturas de onda significativa (0,50 m, 0,75 m, 1,0 m e 1,5 m) e quatro períodos de onda de pico (3 s, 4 s, 5 s e 6 s). O desempenho de um cais em blocos *NOREF* é também comparado com o desempenho de um cais de paramento acostável contínuo (sem cavidades).

Palavras-chave: Blocos *NOREF*, Cais, Terminal Multiusos, Dissipação da Energia da Agitação.

Abstract

For the new multipurpose terminal of the Port of Leixões, presently under construction on the inner side of the Leixões south breakwater, a gravitic type solution was chosen. The solution is based on the superposition of unreinforced concrete blocks, with an innovative and patented geometry – *NOREF Blocks*. These blocks make possible the construction of an open berthing face (less reflective), which aims to improve, or at least not to worsen, wave conditions in the harbor basin, especially near the quay wall, as well as reducing the overtopping levels. Even though this solution has already been used before in a small fishing harbor, its hydraulic efficiency, in terms of wave reflection, has never been evaluated experimentally.

In this work, the results of the physical model tests of the hydraulic efficiency, in terms of wave reflection, of a quay wall build with *NOREF* blocks are presented. The blocks' geometry has been defined in the terminal project phase (*CONSULMAR*). The physical model tests were carried out at a scale 1:30, for two quay wall lengths: 2.0 m (60.0 m in prototype) and 0.5 m (15.0 m in prototype). The test plan included two tide levels (mean tide and high tide), four significant wave heights (0.50 m, 0.75 m, 1.0 m and 1.5 m) and four wave peak periods (3 s, 4 s, 5 s and 6 s). Results are also compared with the ones obtained for a quay wall with a continuous berthing face.

Keywords: *NOREF* blocks, Quay Wall, Multipurpose Terminal, Wave Energy Dissipation.

1. Introdução

O Porto de Leixões, situado na costa noroeste portuguesa, na foz do Rio Leça e aproximadamente 4,5 km a Norte da embocadura do Rio Douro, está preparado para lidar com os principais tipos de tráfego marítimo-portuário.

Dois quebramares proporcionam condições de abrigo a este porto marítimo artificial, que é a segunda maior infra-estrutura portuária do país.

Com o objectivo de ampliar o espaço portuário existente, e simultaneamente, criar melhores condições para o desenvolvimento do segmento de *Roll-on/Roll-off*, foi prevista a construção de um novo terminal multiusos.

Este novo terminal, com implantação no intradorso do molhe Sul do Porto de Leixões, encontra-se actualmente em fase final de construção, Figura 1.

O terminal será constituído por três cais acostáveis: uma estrutura de avanço do cais existente no molhe Sul, com 308,25 m de comprimento e fundos de serviço a -8,50 m ZHL (1 - Figura 1); um cais perpendicular ao molhe Sul, com 184,24 m de desenvolvimento e fundos de serviço a -8,50 m ZHL (2 - Figura 1); e um cais com 55,16 m de extensão, ortogonal ao anterior e com fundos de serviço a -5,0 m ZHL (3 - Figura 1). Um aterro com cerca de 4 ha foi também previsto para a zona do enraizamento do molhe Sul de Leixões.



Figura 1. Local de implantação do novo Terminal Multiusos do Porto de Leixões.

A solução estrutural seleccionada em fase de concurso para os cais do novo terminal multiusos é do tipo gravítico, e materializada pela sobreposição de blocos prefabricados de betão simples, designados por blocos NOREF (*Non Reflection Blocks*).

2. Blocos NOREF: Comportamento Hidráulico

Os blocos NOREF, com uma geometria inovadora e patenteada pela CONSULMAR em 2002, permitem a constituição de um paramento acostável descontínuo, com cavidades, conferindo assim porosidade ao cais e aumentando a sua capacidade de dissipação de energia da agitação incidente.

Pretende-se, portanto, que o paramento acostável do cais seja menos reflector, contribuindo para a melhoria, ou pelo menos para o não agravamento, das condições de agitação no interior de uma bacia portuária e para uma redução dos galgamentos do cais, Figura 2.

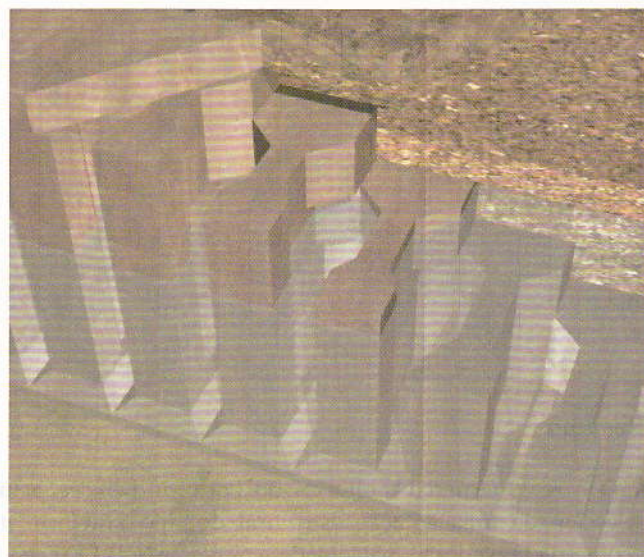


Figura 2. Esquema tridimensional de um cais construído com blocos NOREF.

A ideia subjacente ao desenvolvimento desta solução é que as cavidades existentes no paramento acostável do cais possam funcionar como câmaras de dissipação da energia da agitação incidente. Este efeito terá como consequência a redução da altura de onda reflectida pela estrutura e a redução da oscilação do nível da água junto ao cais, diminuindo assim também a probabilidade de ocorrência de galgamentos.

Esta solução procura não agravar as condições de agitação no plano de água adjacente ao cais, oferecendo melhores condições de tranquilidade e consequentemente manobrabilidade, operacionalidade e de segurança nas imediações dos cais.

Apesar de já terem sido utilizados numa pequena obra marítima portuguesa (em 2005 no cais da Afurada em Vila Nova de Gaia, foz do Rio Douro, com fundos de serviço sensivelmente a -3 m ZH, Figura 3), o comportamento hidráulico de estruturas construídas com blocos NOREF não tinha sido ainda avaliado experimentalmente.

Admitiu-se que a eficiência hidráulica de um cais em blocos NOREF estaria relacionada com a "porosidade" da face exposta e com a geometria das câmaras de dissipação. Outros parâmetros terão também influência no seu comportamento, nomeadamente: o período de onda (T), a altura de onda incidente (H), a declividade da onda (H/L), o ângulo de incidência (α), a profundidade da água (d), a profundidade de água relativa (d/L), e a inclinação dos fundos (i).



Figura 3. Cais de acostagem da Afurada em blocos NOREF.

Os blocos NOREF podem também ser dotados de características especiais que melhorem a sua eficiência hidráulica e estrutural, ou de modo a facilitar o processo construtivo (Brogueira-Dias *et al.*, 2007). Os blocos podem assim ser dotados de almas rebaixadas, nas suas faces superior e/ou inferior, de modo a assegurar a comunicação entre câmaras contíguas; de um furo vertical na cabeça dos blocos e/ou de um sistema de encaixe macho-fêmea no centro da cabeça e no tardo dos blocos, de modo a melhorar a estabilidade e comportamento estrutural do conjunto; e de um dispositivo de obstrução entre pilhas de blocos adjacentes, para evitar a fuga de finos de um possível terraplano existente no tardo dos cais.

As colunas de blocos NOREF que materializam o cais, objecto deste estudo em modelo físico, estão fundadas à cota -9,0 m (ZHL) sobre um prisma de fundação em enrocamento T.O.T. A crista do cais situa-se a +6,0 m (ZHL). As cavidades existentes no paramento frontal do cais foram dimensionadas de forma a conferirem à estrutura uma porosidade de cerca de 40%. Estas cavidades apresentam 0,92 m de largura e desenvolvem-se desde a cota -8,30 m (ZHL) até à cota +4,5 m (ZHL).

O prolongamento das cavidades entre colunas de blocos contíguos acima do nível máximo de água tem como intuito facilitar a saída do ar aprisionado nas câmaras, aliviando assim as pressões que actuam sobre a estrutura (Brogueira-Dias *et al.*, 2007).

3. Plano de Ensaios

Partindo da geometria dos blocos previamente definida em projecto de execução, e portanto adaptada às condições locais de aplicação no terminal multiusos do Porto de Leixões, Figura 4, foram realizados ensaios em modelo físico, de forma a averiguar a influência do período (T), da altura (H) e da declividade da onda (H/L) na eficiência hidráulica à reflexão de um cais em blocos NOREF.

O modelo físico foi construído e operado de acordo com a semelhança de Froude, para uma escala geométrica não distorcida igual a 1:30, a que corresponde uma escala dos tempos (períodos de oscilação) igual a $1:\sqrt{30}$ ($\approx 1:5,5$).

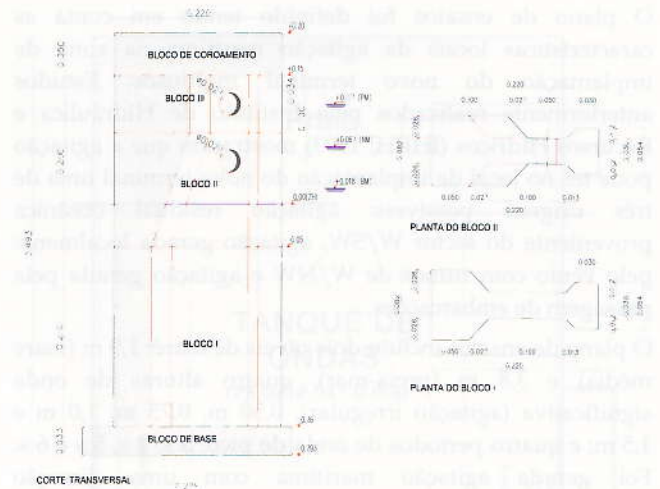


Figura 4. Geometria dos blocos NOREF ensaiados.

Os ensaios decorreram no tanque de ondas do Laboratório de Hidráulica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (LH-FEUP), Figura 5. Este tanque tem 28,0 m de comprimento, 12,0 m de largura, aproximadamente 1,0 m de profundidade, e encontrava-se, à data da realização dos ensaios, dotado de dois geradores de ondas do tipo pistão, com 2,4 m de largura cada.



Figura 5. Tanque de ondas do LH-FEUP à data de realização dos ensaios em modelo físico.

A escala geométrica escolhida para a construção e para a operação do modelo físico representa um compromisso entre a necessidade de minimizar os efeitos de escala e as condições operacionais então existentes no tanque de ondas do LH-FEUP. Salienta-se que após a conclusão dos ensaios a profundidade do tanque de ondas foi aumentada para 1,20 m, e o sistema de geração e aquisição de agitação marítima existente foi substituído.

Actualmente, o tanque de ondas encontra-se equipado com um sistema de geração do tipo multielemento, desenvolvido pelo HR Wallingford, U.K., composto por dois módulos, cada um com 8 pás independentes, perfazendo uma largura total de 12 m (largura total do tanque de ondas). Um sistema de absorção activa das reflexões, Dynamic Wave Absorption (DWA), encontra-se também disponível.

O plano de ensaios foi definido tendo em conta as características locais da agitação marítima na zona de implantação do novo terminal multiusos. Estudos anteriormente realizados pelo Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos (IHRH, 1993) mostraram que a agitação pode ter no local de implantação do novo terminal uma de três origens possíveis: agitação residual oceânica proveniente do sector W/SW, agitação gerada localmente pelo vento com rumos de W/NW e agitação gerada pela passagem de embarcações.

O plano de ensaios incluiu dois níveis de maré: 1,9 m (maré média) e 3,8 m (preia-mar); quatro alturas de onda significativa (agitação irregular): 0,50 m, 0,75 m, 1,0 m e 1,5 m; e quatro períodos de onda de pico: 3 s, 4 s, 5 s e 6 s. Foi gerada agitação marítima com uma direcção perpendicular ao paramento frontal do cais em blocos *NOREF*, inicialmente com um desenvolvimento total de 2,0 m (correspondente a 60 m no protótipo), Figura 6.

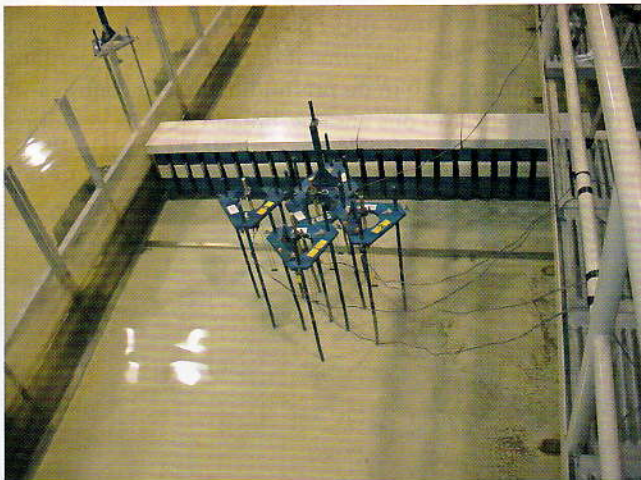


Figura 6. Modelo físico do cais em blocos *NOREF* com 2,0 m de desenvolvimento (60 m no protótipo).

De forma a comparar a eficiência hidráulica à reflexão de um cais em blocos *NOREF* com a correspondente a uma solução de paramento vertical contínuo, foram também realizados ensaios com um cais contínuo e sem cavidades no paramento frontal, para as condições de teste definidas inicialmente, Figura 7.

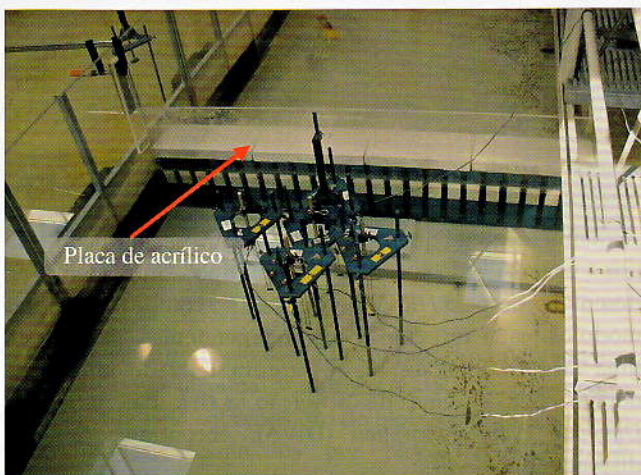


Figura 7. Modelo físico do cais de paramento vertical contínuo com 2,0 m de desenvolvimento (60 m no protótipo).

O cais de paramento vertical contínuo, com um coeficiente de reflexão teórico unitário, foi materializado pela colocação de uma placa de acrílico no paramento frontal do modelo de cais em blocos *NOREF*, previamente montado no canal de 2,0 m de largura, Figura 7. Para a medição da elevação instantânea da superfície livre da água foram usadas sondas de níveis hidrodinâmicos, colocadas a barlar da estrutura.

Com o intuito de validar os resultados obtidos, alguns dos ensaios foram repetidos (2ª série de ensaios e seguintes). Após finalização do plano de ensaios previsto para um desenvolvimento de cais de 2,0 m (no modelo), e com o objectivo de avaliar a influência de possíveis efeitos tridimensionais nos resultados obtidos, foi repetido o plano de ensaio inicial para um desenvolvimento de cais igual a 15 m no protótipo (0,5 m no modelo).

A Figura 8 mostra o modelo físico do cais acostável com um desenvolvimento de 0,5 m (15 m no protótipo) dentro do tanque de ondas do LH-FEUP.



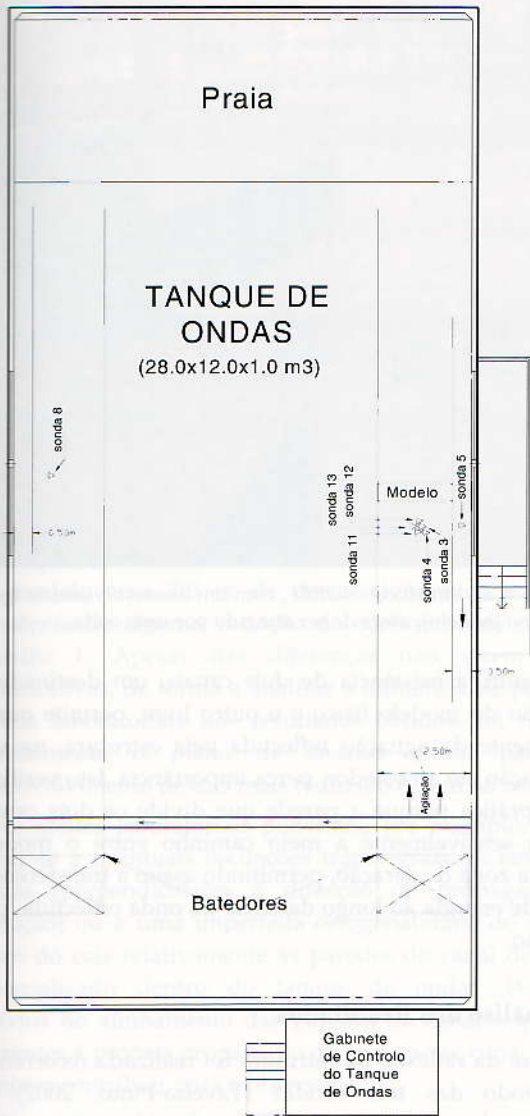
Figura 8. Modelo físico do cais com 0,5 m de desenvolvimento.

Os locais de implantação do modelo físico da estrutura de acostagem no tanque de ondas do LH-FEUP, para as duas situações consideradas, encontram-se assinalados na Figura 9. Como se pode observar foram criados dentro do tanque de ondas, junto à parede lateral direita, dois canais para a colocação do modelo físico.

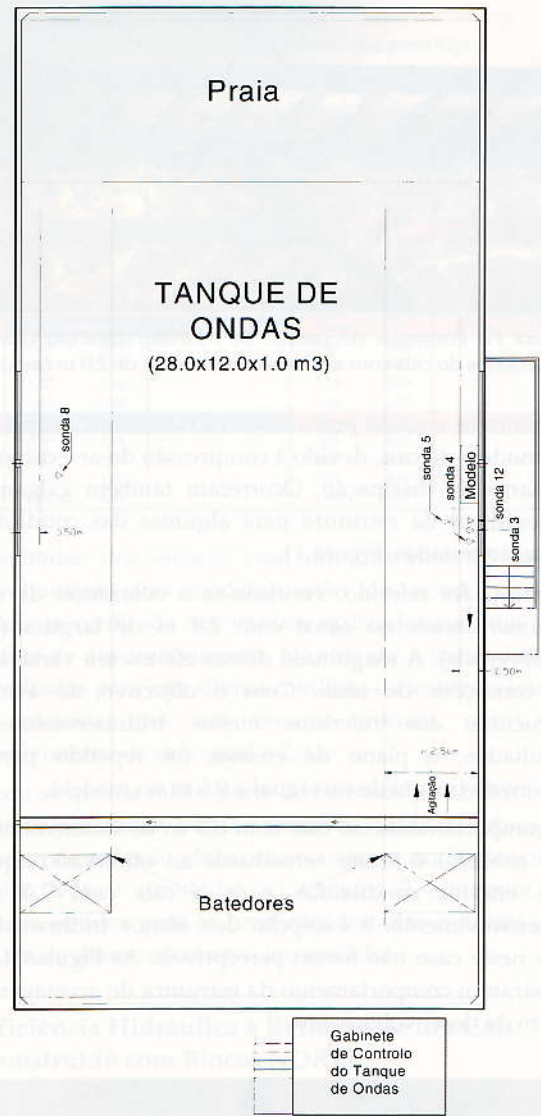
Nos ensaios com um cais de 2,0 m de desenvolvimento, as duas sondas de níveis hidrodinâmicos usadas para o controlo da agitação marítima gerada situavam-se: no canal mais estreito (com 0,50 m de largura) e no canal com 2,5 m de largura, materializado junto à parede lateral esquerda do tanque, Figura 9.

Nos ensaios com um cais de 0,5 m de desenvolvimento, o modelo foi colocado no canal de menor largura (0,5 m), e as sondas de níveis hidrodinâmicos de controlo situavam-se no canal de maior largura (com 2,0 m de largura e onde anteriormente se encontra o modelo físico) e, tal como na situação referida anteriormente, no canal de 2,5 m materializado junto à parede lateral esquerda do tanque de ondas, Figura 9.

A praia existente no tanque de ondas tem como função a dissipação da energia da agitação gerada, contribuindo portanto para a redução das reflexões.



Cais com um desenvolvimento de 2,0 m (no modelo)



Cais com um desenvolvimento de 0,5 m (no modelo)

Figura 9. Locais de implantação do modelo físico da estrutura de acostagem no tanque de ondas do LH-FEUP: cais com um desenvolvimento de 2,0 m (no modelo) à esquerda, e cais com um desenvolvimento de 0,5 m (no modelo) à direita.

4. Ensaios

Com foi anteriormente referido, o plano de ensaios foi definido para dois desenvolvimentos de cais, nomeadamente 2,0 m e 0,5 m (no modelo físico). A elevação instantânea da superfície livre da água, em cada ensaio, foi medida recorrendo a cinco sondas de níveis hidrodinâmicos. Três sondas encontravam-se colocadas a barlar da estrutura, Figura 9, e tinham como objectivo a recolha de dados para posterior análise da reflexão da estrutura. As restantes sondas foram colocadas no exterior do canal onde se introduziu o modelo físico, e tinham como objectivo registar a elevação da superfície livre da água sem a influência do modelo físico.

Durante os ensaios realizados com o cais com 2,0 m de desenvolvimento (no modelo) observou-se alguma turbulência nas imediações do paramento frontal da estrutura, bem como um padrão de reflexão/difracção característico, bem evidenciado nas Figuras 10 e 11.

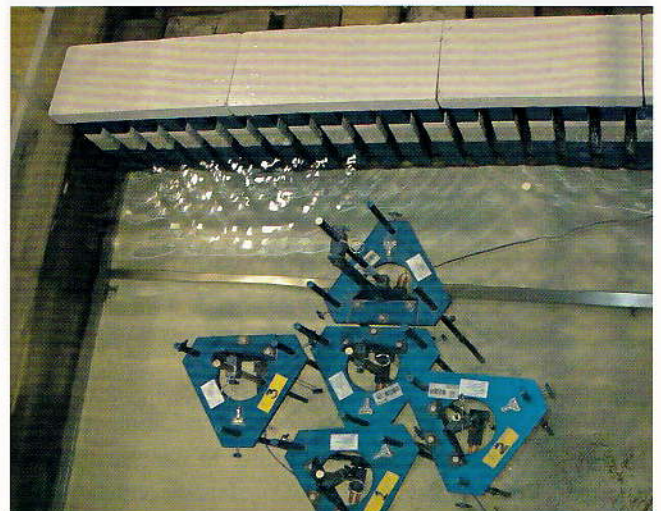


Figura 10. Padrão de reflexão/difracção observado nos ensaios do cais com um desenvolvimento de 2,0 m no modelo (60,0 m no protótipo).

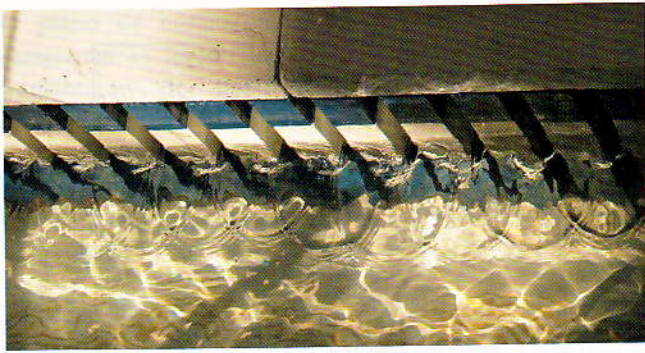


Figura 11. Pormenor do padrão de reflexão/difracção observado nos ensaios do cais com um desenvolvimento de 2,0 m (modelo).

Durante os ensaios podiam ser ouvidos sons provenientes do modelo do cais, devido à compressão do ar existente nas câmaras de dissipação. Ocorreram também galgamentos esporádicos da estrutura para algumas das condições de agitação testadas, Figura 11.

Como já foi referido, verificou-se a ocorrência de efeitos tridimensionais no canal com 2,0 m de largura (ondas transversais). A magnitude desses efeitos era variável com as condições de teste. Com o objectivo de avaliar a influência dos referidos efeitos tridimensionais nos resultados, o plano de ensaios foi repetido para um desenvolvimento de cais igual a 0,5 m no modelo.

O comportamento do cais com 0,5 m de desenvolvimento (no modelo) é muito semelhante ao observado aquando dos ensaios conduzidos para o cais com 2,0 m de desenvolvimento, à excepção dos efeitos tridimensionais, que neste caso não foram perceptíveis. As Figuras 12 e 13 mostram o comportamento da estrutura de acostagem com 0,5 m de desenvolvimento.

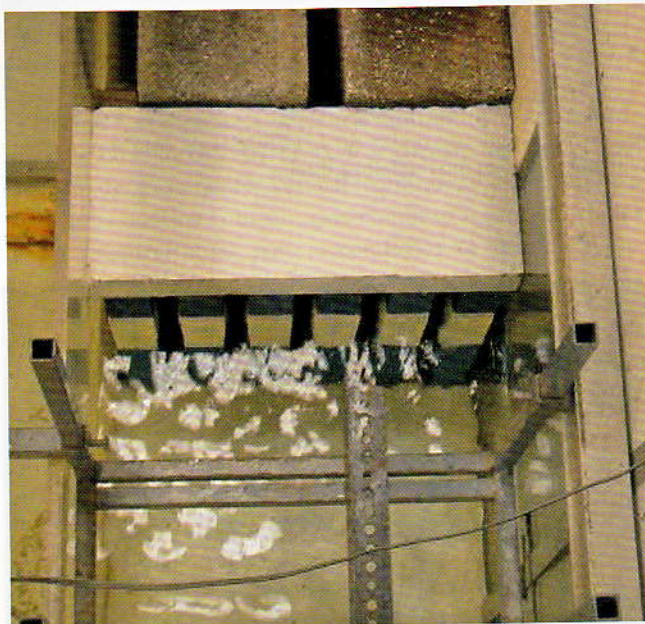


Figura 12. Comportamento da estrutura de acostagem nos ensaios com um desenvolvimento de cais igual a 0,5 m (no modelo).

Nos ensaios realizados não foi utilizado nenhum sistema de absorção activa das reflexões. O canal adjacente ao canal de implantação do modelo físico terminava numa praia de dissipação da energia da agitação, Figura 9.

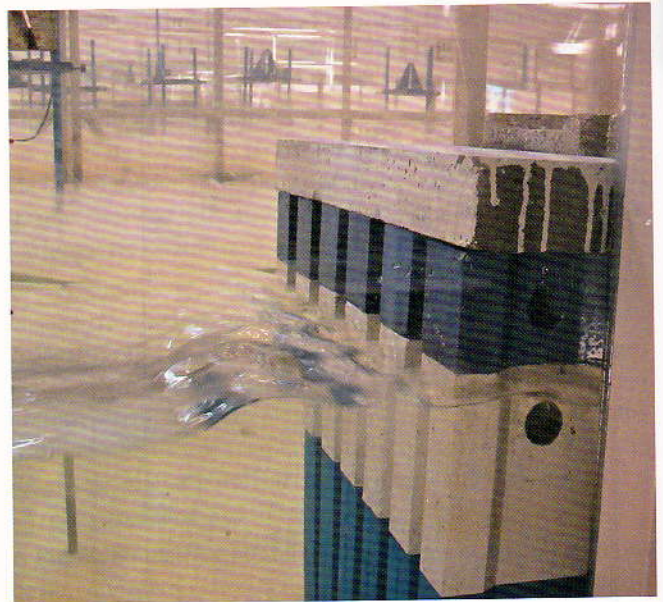


Figura 13. Cais em blocos NOREF, com um desenvolvimento igual a 0,5 m (no modelo), antes de ser atingido por uma onda.

No entanto, a existência de dois canais, um destinado à colocação do modelo físico e o outro livre, permite que a componente da agitação reflectida pela estrutura, na sua propagação até ao batedor, perca importância. Isto verifica-se na prática porque a parede que divide os dois canais termina sensivelmente a meio caminho entre o modelo físico e a zona de geração, permitindo assim a transferência lateral de energia ao longo da crista da onda reflectida, por difracção.

5. Análise dos Resultados

A análise da reflexão da estrutura foi realizada recorrendo ao método das três sondas (Taveira-Pinto, 2002). A separação da agitação incidente da reflectida é efectuada a partir da análise do registo simultâneo de séries temporais de elevações da superfície livre em três sondas, colocadas a barlar da estrutura. O espaçamento entre sondas é determinado em função das condições de ensaio.

O estudo da eficiência hidráulica à reflexão da estrutura é efectuado com base no coeficiente de reflexão global da estrutura, para as várias condições testadas. Este coeficiente representa a razão entre a altura de onda significativa correspondente ao espectro médio reflectido pela estrutura e a altura de onda significativa correspondente ao espectro médio incidente.

No total foram realizados 138 ensaios experimentais: 93 ensaios com um desenvolvimento de cais igual a 2,0 m e 45 ensaios com um desenvolvimento de cais igual a 0,5 m, Quadros 1 e 2. Estes quadros apresentam os coeficientes de reflexão globais (C_r), obtidos para as diferentes condições de ensaio, em função da altura de onda incidente registada pelas sondas de níveis hidrodinâmicos (Hs-reg).

As diferentes séries de resultados dizem respeito a ensaios que foram repetidos sensivelmente nas mesmas condições. O Quadro 1 apresenta também os resultados dos ensaios realizados simulando um cais de paramento vertical contínuo (coeficiente de reflexão teórico unitário).

Quadro 1. Quadro-síntese dos resultados obtidos nos ensaios em modelo físico de um cais de 60 m de desenvolvimento no protótipo.

Tp (s)	Nível Médio (10,8 m)								Preia-Mar (12,3 m)									
	1ª Série		1ª Série		2ª Série		3ª Série		4ª Série		1ª Série		2ª Série		1ª Série		2ª Série	
	Hs-reg	Cr	Hs-reg	Cr	Hs-reg	Cr	Hs-reg	Cr	Hs-reg	Cr	Hs-reg	Cr	Hs-reg	Cr	Hs-reg	Cr	Hs-reg	Cr
3	Cais contínuo		Blocos NOREF		Blocos NOREF		Blocos NOREF		Blocos NOREF		Cais contínuo		Cais contínuo		Blocos NOREF		Blocos NOREF	
	0,48	0,96	0,39	0,65	0,40	0,68					0,49	0,92	0,45	0,90	0,39	0,63	0,40	0,66
	0,60	1,01	0,57	0,60	0,53	0,67	0,56	0,64	0,57	0,61	0,71	0,91	0,66	0,95	0,61	0,57	0,60	0,61
	0,72	0,95	0,75	0,55	0,73	0,61					0,85	0,99	0,86	0,98	0,80	0,54	0,76	0,57
	0,96	0,94	0,95	0,57	1,00	0,60					1,12	0,95	1,11	0,99	1,00	0,54	1,00	0,56
4	Cais contínuo		Blocos NOREF		Blocos NOREF		Blocos NOREF		Blocos NOREF		Cais contínuo		Cais contínuo		Blocos NOREF		Blocos NOREF	
	0,59	1,02	0,53	0,88	0,53	0,83					0,61	1,02			0,55	0,77	0,57	0,72
	0,88	0,98	0,79	0,82	0,79	0,78					0,87	1,01			0,80	0,70	0,83	0,71
	1,12	0,98	1,03	0,78	1,01	0,75					1,10	0,98			1,07	0,62	1,05	0,65
	1,47	0,95	1,37	0,71	1,36	0,71					1,46	0,94			1,39	0,60		
5	Cais contínuo		Blocos NOREF		Blocos NOREF		Blocos NOREF		Blocos NOREF		Cais contínuo		Cais contínuo		Blocos NOREF		Blocos NOREF	
	0,58	1,02	0,58	0,83	0,57	0,89					0,64	0,94			0,61	0,85		
	0,82	1,01	0,83	0,83	0,84	0,85					0,91	0,94			0,88	0,82		
	1,09	0,99	1,07	0,81	1,08	0,83					1,17	0,94			1,13	0,79		
	1,48	1,00	1,45	0,81	1,48	0,80					1,62	0,94			1,49	0,77		
6	Cais contínuo		Blocos NOREF		Blocos NOREF		Blocos NOREF		Blocos NOREF		Cais contínuo		Cais contínuo		Blocos NOREF		Blocos NOREF	
	0,56	0,99	0,57	0,91	0,55	0,93					0,58	1,01			0,58	0,92		
	0,80	0,97	0,83	0,89	0,79	0,91					0,83	1,00			0,83	0,91		
	1,04	0,96	1,06	0,88	1,02	0,89					1,07	1,00			1,07	0,89	1,08	0,90
	1,48	0,95	1,51	0,86	1,43	0,86					1,51	0,99			1,50	0,87		

A comparação dos resultados das diferentes séries relativas ao modelo com 2,0 m de desenvolvimento, revelou a existência de alguma variação do coeficiente de reflexão, Quadro 1. Apesar das diferenças não serem muito significativas, de forma a analisar a influência de possíveis efeitos laboratoriais nos resultados obtidos, foi repetido parcialmente o plano de ensaios inicial para um desenvolvimento de cais mais reduzido (0,5 m no modelo).

Esses efeitos laboratoriais poderiam, por exemplo, ficar a dever-se a eventuais oscilações transversais no tanque de ondas (perpendiculares à direcção de propagação da agitação) ou a uma imperfeita ortogonalidade do modelo físico do cais relativamente às paredes do canal de 2,0 m, materializado dentro do tanque de ondas. Pequenos desvios no alinhamento das paredes do canal e questões inerentes à própria propagação da onda nesse canal podem também contribuir para o observado.

Quadro 2. Quadro-síntese dos resultados obtidos nos ensaios em modelo físico para um desenvolvimento de cais igual a 15 m no protótipo.

Tp (s)	Nível Médio (10,8 m)				Preia-Mar (12,3 m)			
	1ª Série		1ª Série		2ª Série		2ª Série	
	Hs-reg	Cr	Hs-reg	Cr	Hs-reg	Cr	Hs-reg	Cr
3	Blocos NOREF		Blocos NOREF		Blocos NOREF		Blocos NOREF	
	0,30	0,65	0,31	0,63				
	0,48	0,57	0,50	0,53				
	0,62	0,53	0,65	0,48				
	0,85	0,51	0,88	0,44				
	0,94	0,51	0,99	0,43				
4	Blocos NOREF		Blocos NOREF		Blocos NOREF		Blocos NOREF	
	0,47	0,77	0,46	0,68	0,47	0,67		
	0,71	0,71	0,71	0,61	0,71	0,62		
	0,94	0,66	0,95	0,53				
	1,35	0,63	1,36	0,52				
	1,55	0,64	1,56	0,54	1,36	0,54		
5	Blocos NOREF		Blocos NOREF		Blocos NOREF		Blocos NOREF	
	0,55	0,87	0,56	0,83				
	0,81	0,84	0,82	0,80				
	1,07	0,82	1,07	0,76				
	1,56	0,78	1,57	0,70				
	1,89	0,76	1,92	0,67				
6	Blocos NOREF		Blocos NOREF		Blocos NOREF		Blocos NOREF	
	0,54	0,90	0,55	0,88				
	0,78	0,89	0,79	0,87				
	1,01	0,88	1,03	0,86				
	1,44	0,86	1,53	0,83				
	1,76	0,84	1,87	0,80				

Os resultados dos ensaios com um cais com 0,5 m de desenvolvimento (no modelo) estão de acordo com a tendência já verificada nos ensaios realizados com um cais com 2,0 m de desenvolvimento. No entanto, a variabilidade dos resultados para esta última condição de teste revelou-se mais reduzida que nos ensaios iniciais, para um desenvolvimento de cais igual a 2,0 m.

Verificou-se que na maior parte dos ensaios realizados com um cais de paramento vertical contínuo (placa reflectora), o coeficiente de reflexão global se encontrava muito próximo do valor teórico (unidade). O Quadro 2 apresenta os resultados obtidos para as condições testadas com um cais de 0,50 m de desenvolvimento (no modelo).

6. Eficiência Hidráulica à Reflexão de um Cais Construído com Blocos NOREF

A análise da eficiência hidráulica à reflexão apresentada neste capítulo é feita apenas para os resultados obtidos para um desenvolvimento de cais igual a 15,0 m (no protótipo). As conclusões aqui apresentadas são muito semelhantes às que se poderiam obter numa análise dos resultados obtidos para um desenvolvimento de cais de 60,0 m (no protótipo).

A análise dos resultados mostra que o coeficiente de reflexão global de uma estrutura de acostagem construída com blocos NOREF aumenta com a diminuição da altura de onda significativa incidente e com o aumento do período de onda de pico, na generalidade dos ensaios realizados, Figuras 14 e 15. Esta tendência é independente do nível de água testado. Verificou-se também uma melhoria da eficiência hidráulica, relativamente à reflexão da agitação, do cais em blocos NOREF para o nível de água mais elevado (preia-mar) e para qualquer um dos períodos de onda de pico testados, Figuras 16 a 19.

Comparando os resultados obtidos para os dois desenvolvimentos de cais testados, nota-se uma maior consistência dos coeficientes de reflexão (obtidos para as mesmas condições de ensaio) nos testes realizados com um desenvolvimento de cais igual a 0,50 m (no modelo).

Em geral, os resultados obtidos para este desenvolvimento de cais foram ligeiramente mais favoráveis (menor coeficiente de reflexão global).

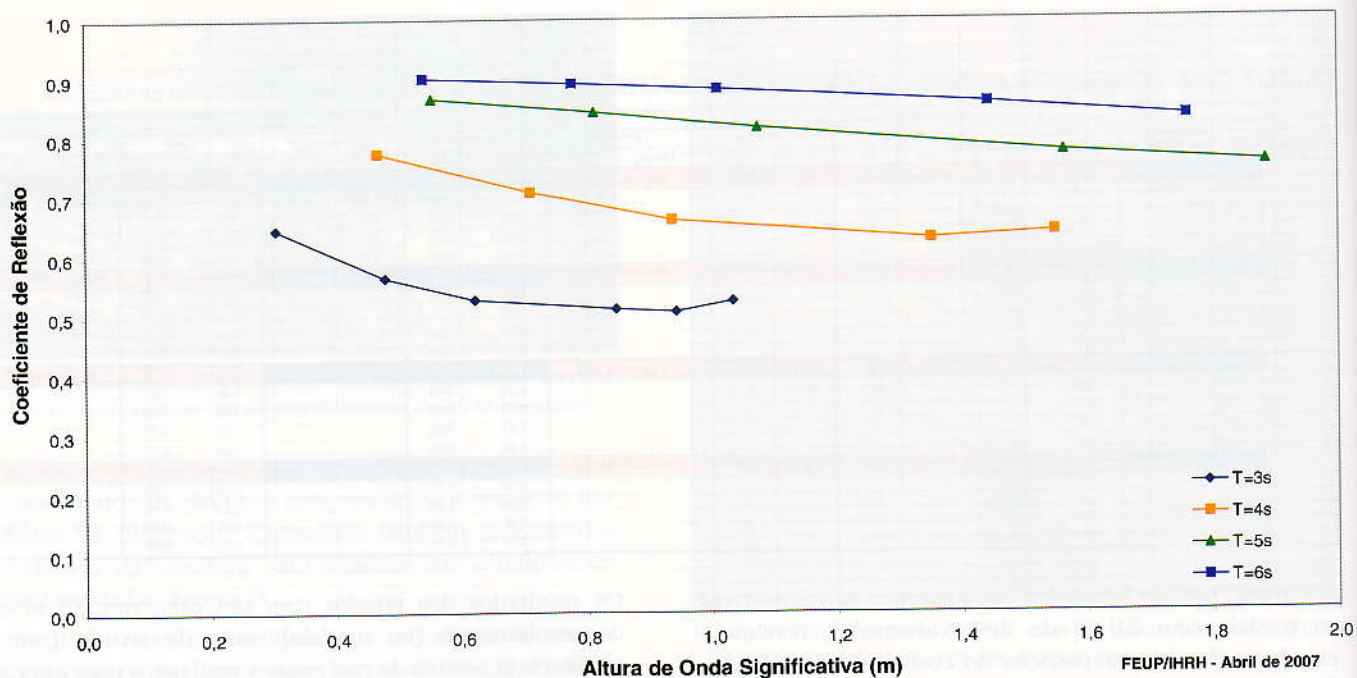


Figura 14. Coeficientes de Reflexão obtidos para os vários períodos de onda (T), para uma largura de cais em blocos NOREF de 15 m no protótipo e nível de água médio.

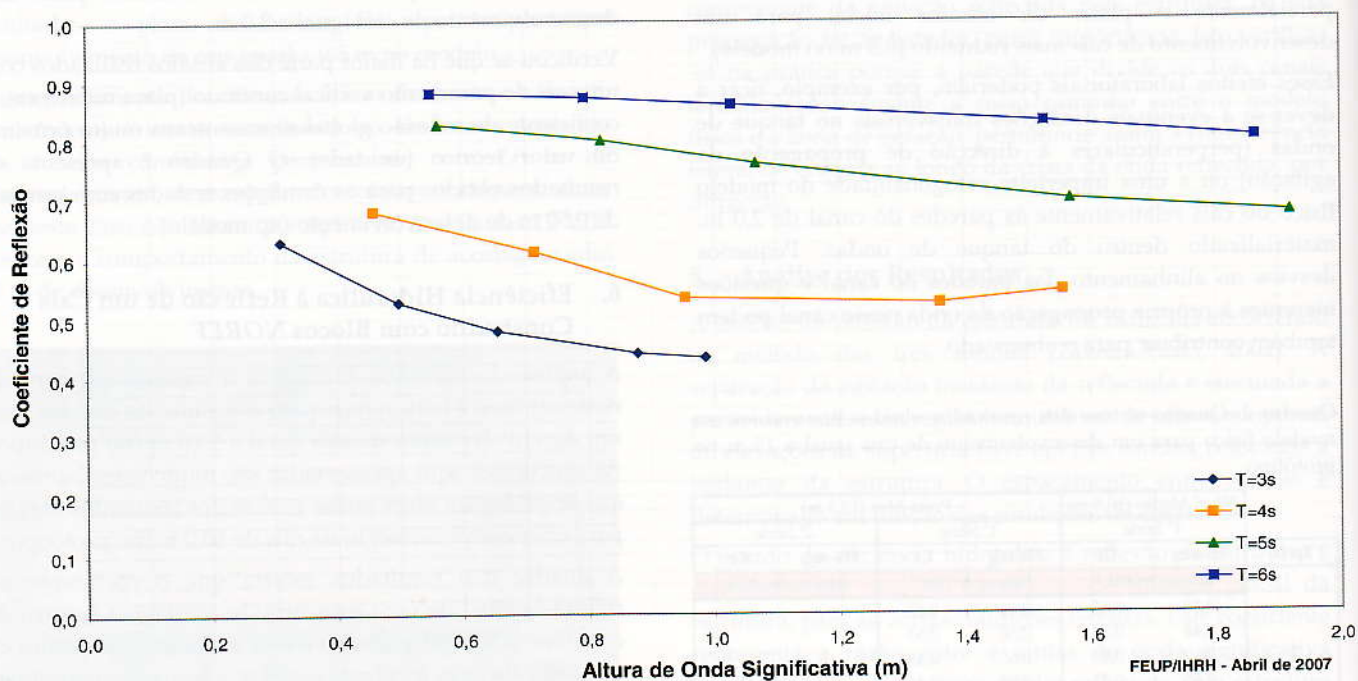


Figura 15. Coeficientes de Reflexão obtidos para os vários períodos de onda (T), para uma largura de cais em blocos NOREF de 15 m no protótipo e nível de água máximo.

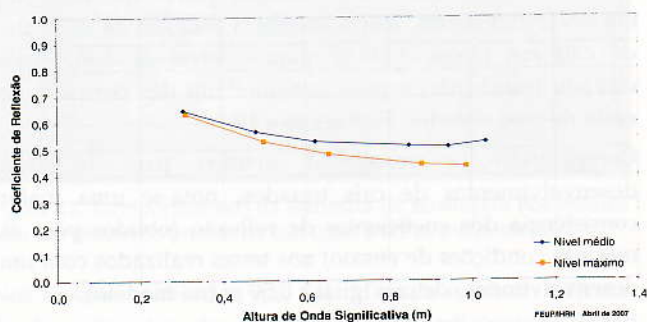


Figura 16. Coeficientes de Reflexão obtidos para um período de onda (T) de 3 s e uma largura de cais em blocos NOREF de 15 m (no protótipo), para os dois níveis de maré considerados.

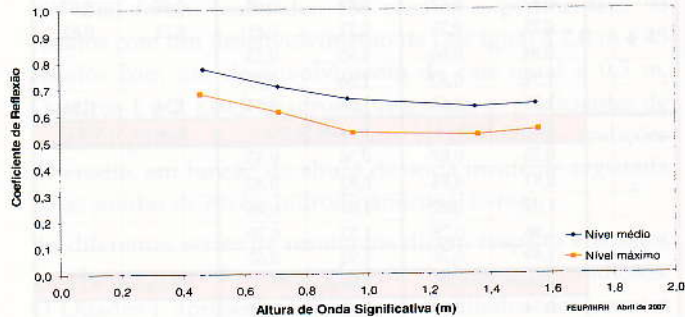


Figura 17. Coeficientes de Reflexão obtidos para um período de onda (T) de 4 s e uma largura de cais em blocos NOREF de 15 m (no protótipo), para os dois níveis de maré considerados.

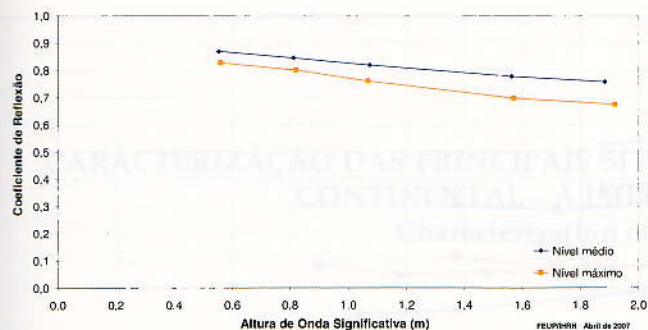


Figura 18. Coeficientes de Reflexão obtidos para um período de onda (T) de 5 s e uma largura de cais em blocos NOREF de 15 m (no protótipo), para os dois níveis de maré considerados.

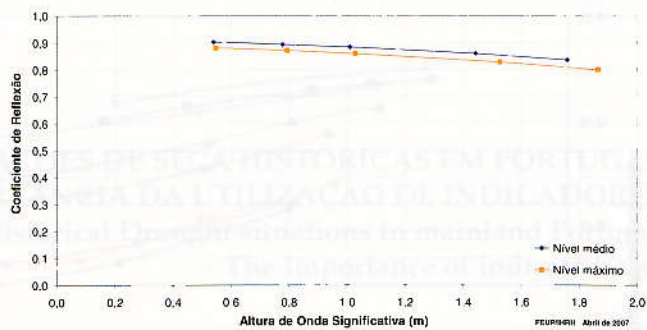


Figura 19. Coeficientes de Reflexão obtidos para um período de onda (T) de 6 s e uma largura de cais em blocos NOREF de 15 m (no protótipo), para os dois níveis de maré considerados.

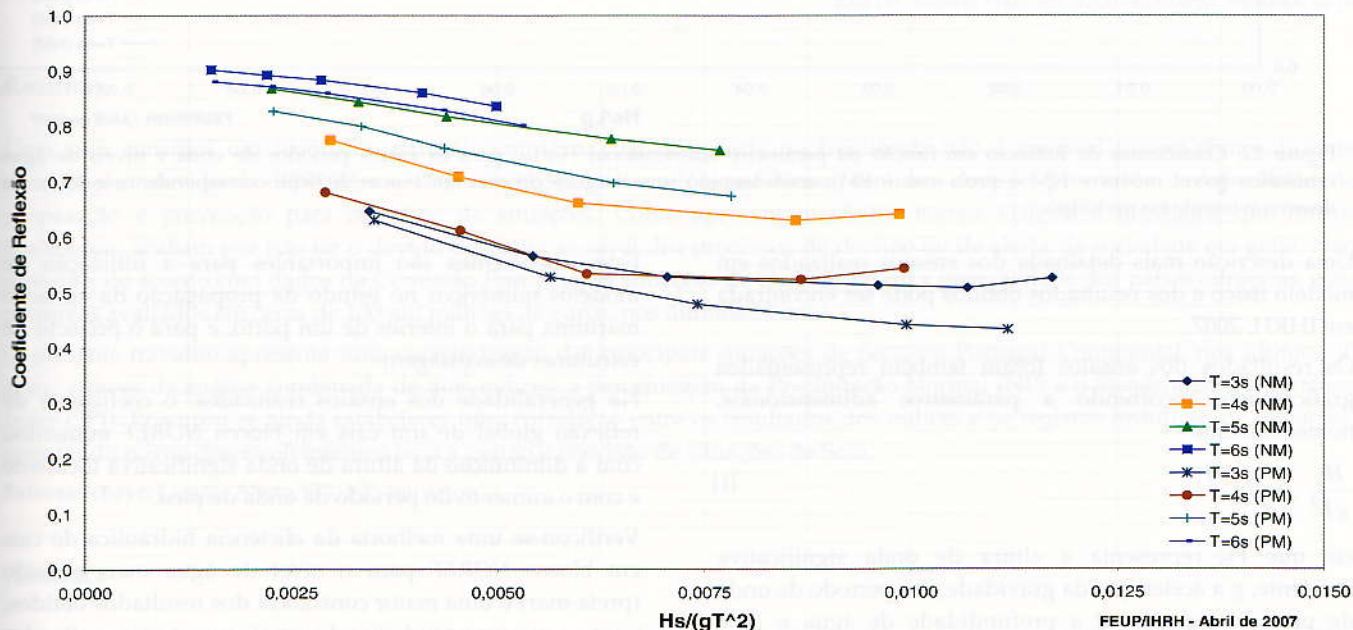


Figura 20. Coeficientes de Reflexão em função do parâmetro adimensional $H_s/(gT^2)$, para os vários períodos de onda e níveis de água estudados (nível médio - NM e preia-mar - PM), considerando uma largura de cais em blocos NOREF correspondente a 15 m de desenvolvimento no protótipo.

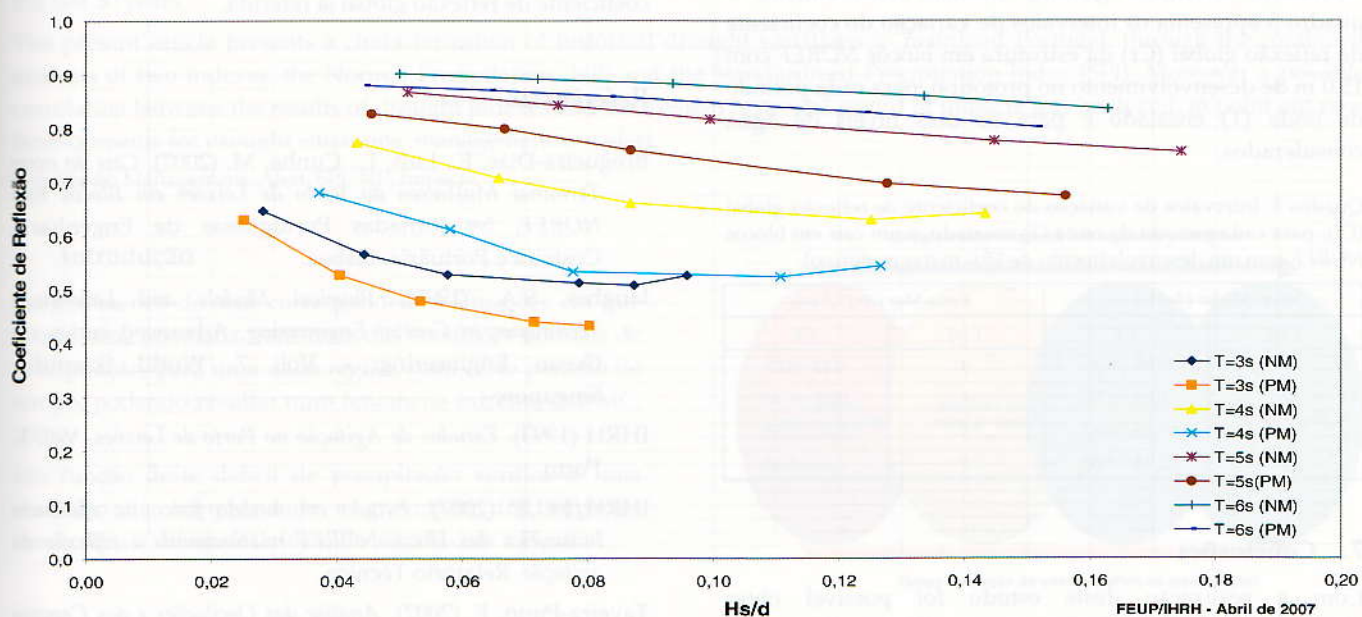


Figura 21. Coeficientes de Reflexão em função do parâmetro adimensional H_s/d , para os vários períodos de onda e níveis de água estudados (nível médio - NM e preia-mar - PM), considerando uma largura de cais em blocos NOREF correspondente a 15 m de desenvolvimento no protótipo.

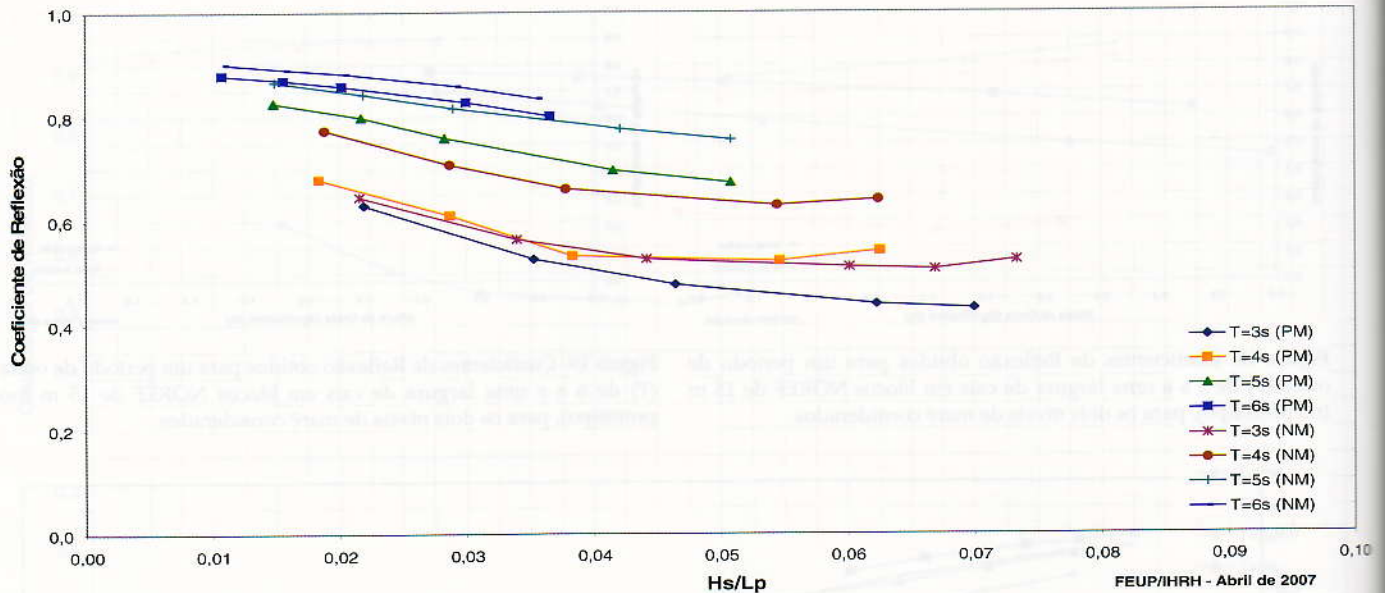


Figura 22. Coeficientes de Reflexão em função do parâmetro adimensional H_s/L_p , para os vários períodos de onda e níveis de água estudados (nível médio - NM e preia-mar - PM), considerando uma largura de cais em blocos NOREF correspondente a 15 m de desenvolvimento no protótipo.

Uma descrição mais detalhada dos ensaios realizados em modelo físico e dos resultados obtidos pode ser encontrada em IHRH, 2007.

Os resultados dos ensaios foram também representados graficamente recorrendo a parâmetros adimensionais, nomeadamente:

$$\frac{H_s}{gT^2}, \frac{H_s}{d} e \frac{H_s}{L_p} \quad [1]$$

em que H_s representa a altura de onda significativa incidente, g a aceleração da gravidade, T o período de onda de pico do espectro, d a profundidade de água e L_p o comprimento de onda associado ao período de onda de pico.

Os resultados são apresentados nas Figuras 20 a 22. A análise dessas figuras mostra a tendência de variação do coeficiente de reflexão global já descrita anteriormente. O quadro 3 apresenta os intervalos de variação do coeficiente de reflexão global (Cr) da estrutura em blocos NOREF com 15,0 m de desenvolvimento no protótipo, para cada período de onda (T) ensaiado e para os dois níveis de água considerados.

Quadro 3. Intervalos de variação do coeficiente de reflexão global (Cr), para cada período de onda (T) ensaiado, e um cais em blocos NOREF com um desenvolvimento de 15,0 m (no protótipo).

Nível Médio (d=10,8 m)		Preia-Mar (d=12,3 m)	
T (s)	Cr	T (s)	Cr
3	0,50 - 0,65	3	0,43 - 0,63
4	0,63 - 0,77	4	0,52 - 0,68
5	0,76 - 0,87	5	0,67 - 0,83
6	0,84 - 0,90	6	0,80 - 0,88

7. Conclusões

Com a realização deste estudo foi possível obter experimentalmente os coeficientes de reflexão de um cais em blocos NOREF para diferentes níveis de água, períodos de onda e alturas de onda.

Estes coeficientes são importantes para a utilização de modelos numéricos no estudo da propagação da agitação marítima para o interior de um porto, e para o projecto de estruturas de acostagem.

Na generalidade dos ensaios realizados, o coeficiente de reflexão global de um cais em blocos NOREF aumentou com a diminuição da altura de onda significativa incidente e com o aumento do período de onda de pico.

Verificou-se uma melhoria da eficiência hidráulica do cais em blocos NOREF para o nível de água mais elevado (preia-mar) e uma maior constância dos resultados obtidos, para as mesmas condições de ensaio, nos testes realizados com um comprimento de cais igual a 0,50 m no modelo (15 m no protótipo).

A representação dos resultados recorrendo a parâmetros adimensionais usuais mostra a tendência de variação do coeficiente de reflexão global já referida.

Referências

- Brogueira-Dias, E., Luís, L., Cunha, M. (2007). *Cais do novo Terminal Multiusos do Porto de Leixões em Blocos tipo NOREF*, 5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Lisboa.
- Hughes, S.A. (1995). *Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering*, Advanced series on Ocean Engineering - Vol. 7, World Scientific, Singapore.
- IHRH (1993). *Estudos de Agitação no Porto de Leixões*, Vol. 1, Porto.
- IHRH/FEUP (2007). *Estudo em modelo físico da eficiência hidráulica dos blocos NOREF relativamente à reflexão da agitação*. Relatório Técnico.
- Taveira-Pinto, F. (2002). *Análise das Oscilações e dos Campos de Velocidade nas Proximidades de Quebramares Submersos, sob a Acção da Agitação Marítima*, Tese de Doutoramento FEUP.

2^{as} JORNADAS

DE HIDRÁULICA, RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE

Editorial

- O novo sistema de geração e aquisição de agitação marítima do Laboratório de Hidráulica da FEUP** 1
Francisco Taveira-Pinto, Fernando Veloso-Gomes, Raquel Silva, Luciana das Neves, Paulo Rosa Santos, Hugo Guedes Lopes e Ana Cristina Neves
- Bases para a estratégia de gestão integrada da Zona Costeira Nacional** 15
Fernando Veloso-Gomes, Ana Barroco, Ana Ramos Pereira, Carlos Sousa Reis, Helena Calado, João Gomes Ferreira, Maria da Conceição Freitas e Manuel Biscoito
- As obras de defesa costeira na Costa da Caparica. Na crista das ondas do mar e da comunicação social** 23
Fernando Veloso-Gomes, Francisco Taveira-Pinto, Joaquim Pais-Barbosa, João Costa e António Rodrigues
- Ferramenta de apoio à decisão para sistemas de protecção costeira com geossintéticos** 33
Susana Garcia, Maria de Lurdes Lopes, Fernando Veloso-Gomes e Luciana das Neves
- Estudo em modelo físico da eficiência hidráulica à reflexão de blocos verticais perfurados** 41
Fernando Veloso-Gomes, Francisco Taveira-Pinto, Emílio Brogueira-Dias, Hugo Guedes Lopes e Paulo Rosa Santos
- Caracterização das principais situações de seca históricas em Portugal continental – a importância da utilização de indicadores** 51
Eduardo Vivas e Rodrigo Maia
- Formulação e avaliação de estratégias de gestão de recursos hídricos: exemplos do abastecimento público na região do Algarve** 63
Cristina Silva e Rodrigo Maia
- Projecto Porto gravítico: reformulação de um sistema de abastecimento de água centenário** 69
Joaquim Poças Martins e Rita Cunha
- Contribuição do projecto Aquastress para uma agricultura sustentável: o caso de estudo português** 75
Luís Correia, Isaurindo Oliveira e Rodrigo Maia
- Estudo do comportamento de um navio amarrado no posto “A” do terminal petrolífero do porto de Leixões: construção e calibração do modelo físico** 85
Paulo Rosa Santos, Fernando Veloso-Gomes, Francisco Taveira-Pinto e Emílio Brogueira-Dias
- Elementos finitos para ondas não lineares e dispersivas** 95
Paulo Avilez-Valente
- Fenómenos de sedimentação e transporte – início do movimento** 103
Elsa Carvalho, Rodrigo Maia e Maria Fernanda Proença
- Medições de forças e campos de velocidades em sistemas de propulsão de navios** 111
João Pedro Pêgo e Rodrigo Maia
- Modelação inversa de fundos com dados da elevação da superfície livre** 119
Ana Sofia Mesquita e Paulo Avilez-Valente
- Utilização de imagens de satélite na determinação de sedimentos suspensos totais em zonas costeiras** 129
Ana Cláudia Teodoro e Fernando Veloso-Gomes
- Medição da trajectória de um jacto livre usando aquisição de imagens** 139
Rui Aleixo e Maria Fernanda Proença
- Monitorização ambiental no porto de Leixões** 147
Hugo Guedes Lopes, Rui Boaventura, Ana Isabel Gomes, Fernando Veloso-Gomes, Francisco Taveira-Pinto e Rui Calejo Rodrigues
- Energia alternativa na indústria láctea: a produção e aproveitamento de biogás numa pequena queijaria minhota** 157
Chia-Yau Cheng
- Análise geoestatística de uma descarga de águas residuais** 163
Maurício Del Monego, Patrícia Ramos e Mário Valente-Neves
- Afluências indevidas aos sistemas de drenagem de águas residuais** 169
Hélder Amorim, Mário Valente-Neves e José Saldanha Matos