



**CAIS DO NOVO TERMINAL MULTIUSOS DO PORTO DE LEIXÕES EM
BLOCOS TIPO NOREF**

PROJECTO, ENSAIOS FÍSICOS E CONSTRUÇÃO

Emílio Brogueira Dias (Administração dos Portos do Douro e Leixões, S.A.)

Lucília Luís (CONSULMAR, Lda.)

Manuel Cunha (Irmãos Cavaco, S.A.)

SUMÁRIO

Esta apresentação foca a aplicação de um tipo inovador de estruturas acostáveis pouco reflectoras designadas por Estruturas NOREF – Non Reflection Blocks. Aborda as várias possibilidades de aplicação dos Blocos NOREF e estruturas por eles formadas com particular destaque para a aplicação nos muros-cais de gravidade do Novo Terminal Multiusos do Porto de Leixões, cuja estrutura foi sujeita a ensaios em modelo hidráulico reduzido, estando actualmente a decorrer a sua construção.

Particular atenção é dada, não só às questões de projecto (hidráulicas e estruturais) como aos aspectos relacionados com a construção que, embora sejam simples e muito semelhantes aos cais de blocos tradicionais, apresentam algumas particularidades. No que concerne ao projecto é dado especial realce ao funcionamento hidráulico, designadamente à capacidade de atenuação da energia das ondas. Relativamente aos aspectos estruturais é feita a menção a diversos dispositivos especiais que melhoram o comportamento estrutural do conjunto. No que se refere aos processos construtivos são focados os relacionados com o fabrico, manuseamento e colocação, por serem os que, embora apresentando muitas semelhanças, se distinguem das estruturas tradicionais de blocos.

1 – INTRODUÇÃO

O recurso à utilização de blocos tipo NOREF nos cais de gravidade resulta da necessidade de construir estruturas acostáveis pouco reflectoras. Este tipo de blocos e estruturas por eles formados foram objecto de patente nacional em 2002, aplicados pela primeira vez no cais de pesca da Afurada, na foz do rio Douro em 2005, sujeitos a ensaios físicos em modelo reduzido no início de 2007 e estão a ser aplicados no cais do novo terminal multiusos do Porto de Leixões.

Os Blocos NOREF consistem em blocos de betão simples de forma prismática, com algumas semelhanças aos blocos “I” tradicionais, mas com a particularidade do “banzo” situado na frente de acostagem ser mais estreito que o do tardo e, por conseguinte, quando colocados em sobreposição e justapostos, formam uma estrutura hidráulica acostável e pouco reflectora. Estas estruturas são, assim, constituídas por colunas contíguas, formando uma superfície vertical descontínua, com cavidades que lhe conferem porosidade e ganhos na capacidade de dissipação de energia que, conseqüentemente, lhe reduzem o coeficiente de reflexão e o galgamento da maioria das ondas incidentes, nomeadamente as de baixo período.

A geometria dos Blocos NOREF depende da conjugação de factores estruturais e factores hidráulicos. Os primeiros estão directamente dependentes das acções a que a estrutura irá ficar sujeita (impulsos de terra, impulsos hidrostáticos e hidrodinâmicos, peso próprio, sobrecargas, acção sísmica, acostagem, amarração de embarcações) e da capacidade resistente dos blocos individualmente. Os segundos estão dependentes das características das ondas no local onde se insere a estrutura e da eficiência hidráulica que se pretende conferir.

O efeito dissipador das Estruturas NOREF está directamente relacionado com a porosidade da face onde incide a agitação, assim como com a geometria das câmaras de dissipação, e depende doutros parâmetros, como: Período e altura da onda; Declividade; Ângulo de incidência; Profundidade e profundidade relativa junto à estrutura; Inclinação do fundo, tendo os resultados dos ensaios demonstrado que são mais eficientes para ondas de pequeno período.



A configuração dos Blocos NOREF obrigou a um especial cuidado nas condições de prefabricação, manuseamento e sua colocação em obra, tendo sido estudadas e construídas cofragens, processos de suspensão e controlo específicos. Para garantir que as câmaras de dissipação ficassem bem definidas e a superfície de acostagem tivesse um desempenho perfeito, foram utilizadas cêrceas metálicas, que permitiram um controlo adequado da colocação dos blocos.

2 – BLOCOS E ESTRUTURAS NOREF – PATENTE

Foram objecto de patente os BLOCOS NOREF e as ESTRUTURAS NOREF por eles formadas. Os blocos são, assim, os elementos constituintes das estruturas, sendo estas obtidas através da sobre e justaposição dos blocos.

Foram patenteados três tipos de BLOCOS NOREF. Os BLOCOS NOREF N (Normal), NOREF S (Siamese) e NOREF D (Double). Os três tipos de blocos distinguem-se pela geometria que assumem, sendo os BLOCOS NOREF S e D resultado da composição de dois BLOCOS NOREF N, ligados topo a topo ou lado a lado, respectivamente.

As ESTRUTURAS NOREF são constituídas por BLOCOS NOREF e distinguem-se consoante as funções que desempenham, podendo ser designadas por ESTRUTURAS NOREF Q (Quay), ESTRUTURAS NOREF P (Protective bank) e ESTRUTURAS NOREF J (Jetty), conforme assumam as funções de cais aderentes ao terraplano, retenções marginais ou pontes-cais, respectivamente.

2.1 – Geometria dos BLOCOS NOREF

Os Blocos NOREF N, são peças prismáticas, prefabricadas, em betão simples, nas quais são moldadas reentrâncias laterais. As reentrâncias laterais são conseguidas à custa da diminuição da largura do bloco, sendo esta, portanto, variável. No bloco distinguem-se três partes: cabeça, alma e tardez. A cabeça e o tardez do bloco apresentam, em planta, forma trapezoidal; a alma apresenta forma rectangular. A cabeça corresponde à parte exterior do bloco e o tardez à parte interior. A primeira apresenta dimensões inferiores à segunda. A alma é o elemento de ligação entre a cabeça e o tardez (Fig. 1).

Os BLOCOS NOREF S resultam da justaposição dos BLOCOS NOREF N, topo a topo, ligados entre si pelo tardez dos blocos (Fig. 2). Os BLOCOS NOREF D resultam da justaposição dos BLOCOS NOREF N, lado a lado, ligados lateralmente pelo tardez dos blocos. (Fig. 3). As principais dimensões dos Blocos NOREF são as que definem a sua forma prismática envolvente. As suas gamas de variação corrente são as que se apresentam no Quadro 1.

A geometria dos Blocos NOREF depende da conjugação de factores estruturais e factores hidráulicos. Os primeiros estão directamente dependentes das acções a que a estrutura irá ficar sujeita (impulsos de terra, impulsos hidrostáticos e hidrodinâmicos, peso próprio, sobrecargas, acção sísmica, acostagem, amarração de embarcações, etc.) e da capacidade resistente dos blocos individuais. Os segundos estão dependentes das características das ondas no local onde se insere a estrutura e da eficiência hidráulica que se pretende conferir, traduzida essencialmente na redução dos coeficientes de reflexão e de galgamento da estrutura em relação à clássica solução de estruturas verticais.

QUADRO 1

Parâmetros	Variáveis	Dimensões correntes dos Blocos NOREF (m)		
		Bloco N	Bloco S	Bloco D
Comprimento	l	3,0 a 9,0	5,0 a 10,0	2,0 a 5,0
Largura	a	1,0 a 4,0	1,0 a 3,0	2,0 a 6,0
Altura	h	1,0 a 3,0	1,0 a 3,0	1,0 a 3,0

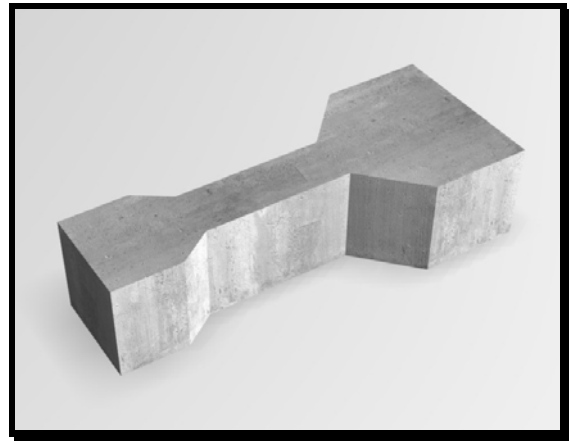
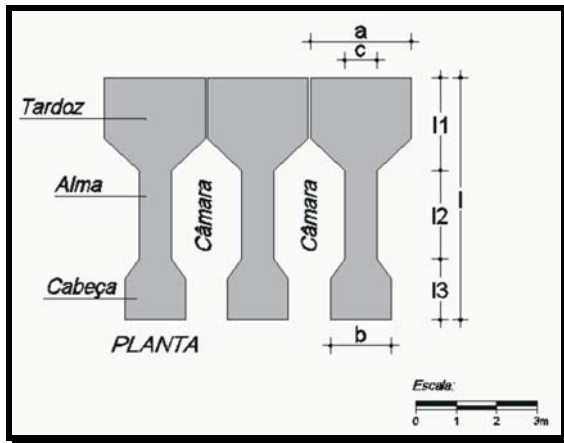


Fig. 1 – Blocos NOREF N

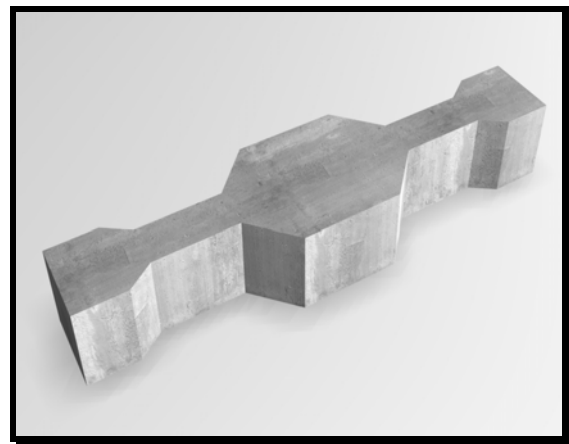
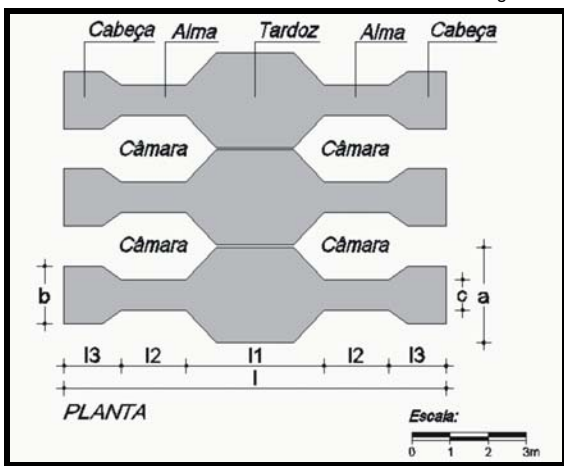


Fig. 2 – Blocos NOREF S

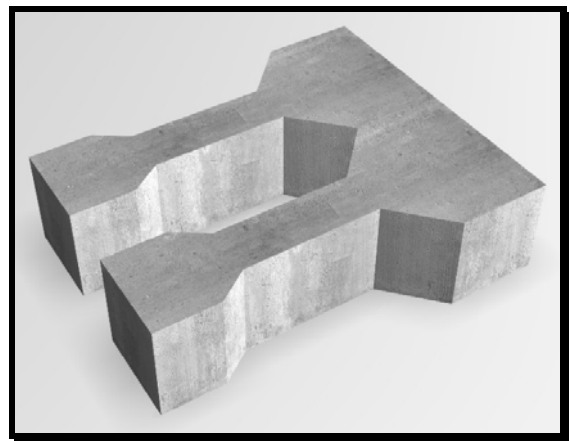
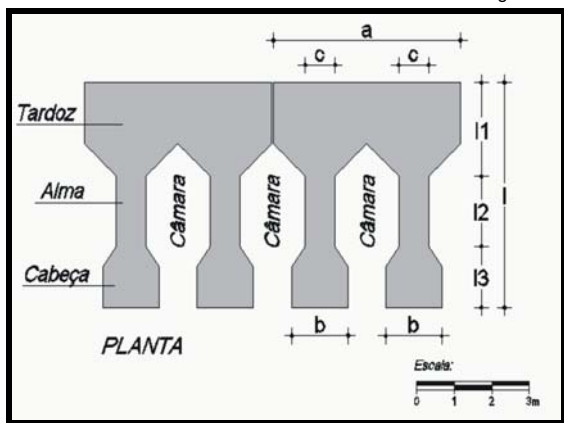


Fig. 3 – Blocos NOREF D

A geometria final dos Blocos NOREF e da Estrutura por eles formada depende sempre de cálculo específico efectuado caso a caso. A geometria geral do Bloco NOREF N, que é a forma base do invento, pode, no entanto, ser bem caracterizada pelos parâmetros relacionais indicados no Quadro 2.

QUADRO 2

Relações características		Índice	Dimensões dos Blocos NOREF N
Dimensões do bloco	Largura relativa	a/l	0,30 a 0,80
	Altura relativa	h/l	0,20 a 0,80
Cabeça do bloco	Largura relativa	b/a	0,30 a 0,60
	Comprimento relativo	l_3/b	0,80 a 1,20
Alma do bloco	Largura relativa	c/a	0,20 a 0,60
	Comprimento relativo	l_2/c	1,50 a 5,00
Tardoz do bloco	Comprimento relativo	l_1/a	0,50 a 1,20

O volume de betão de cada Bloco (V_b) é uma parte do volume da forma prismática envolvente ($V_e = l \times a \times h$). O índice de vazios dos Blocos NOREF ($1 - V_b/V_e$) situa-se normalmente entre 0,35 e 0,55.

2.2 – Geometria das ESTRUTURAS NOREF

As ESTRUTURAS NOREF são estruturas verticais formadas através da sobreposição dos Blocos NOREF (Figs. 4 e 5). A descontinuidade aparente da estrutura é obtida através das aberturas na sua face exposta. Estas aberturas prolongam-se e alargam-se para o interior da estrutura formando câmaras que se desenvolvem desde o fundo.

A dimensão das aberturas e das câmaras dependem apenas das dimensões dos Blocos NOREF que as constituem. A sua geometria geral pode, por isso, ser bem caracterizada a partir das dimensões e das relações características dos blocos.

Em função do objectivo e das características funcionais para as quais a estrutura é concebida (cais de acostagem, ponte-cais ou retenção marginal), esta pode resultar da sobreposição de BLOCOS NOREF tipo N, S ou D e tomar a designação de ESTRUTURA NOREF Q (Quay), J (Jetty) ou P (Protection Bank).

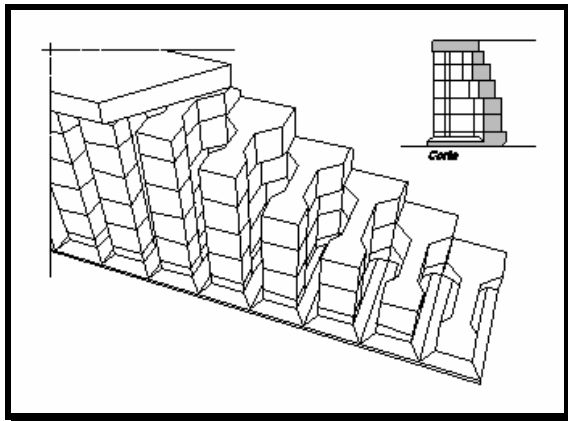


Fig. 4 – Estrutura NOREF Q

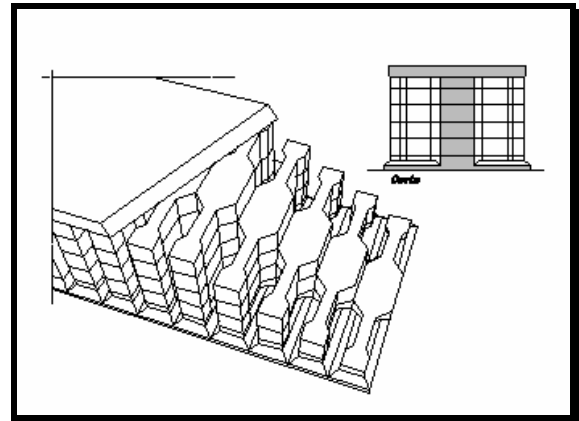


Fig. 5 – Estrutura NOREF J

Nas ESTRUTURAS NOREF o bloco de base apresenta uma laje na face inferior e a superestrutura, que interliga superiormente as colunas dos Blocos NOREF, é betonada “in situ”, podendo ser materializada por uma laje de betão armado.

As principais dimensões que caracterizam uma Estrutura NOREF são a sua altura total (altura da coluna incluindo a laje de fundo e a superestrutura de ligação) e o comprimento do seu maior bloco.

As gamas de variação corrente das principais dimensões das ESTRUTURAS NOREF são as que se apresentam no Quadro 3.

QUADRO 3

Tipo de estrutura NOREF	Dimensões correntes		Tipo de bloco NOREF
	Altura total	Compr. do maior bloco	
Retenções marginais (P)	3 a 7	2 a 5	N ou D
Cais aderentes (Q)	5 a 12	3 a 9	N ou D
Pontes-cais (J)	4 a 10	5 a 10	N, D ou S

2.3 – Dispositivos especiais

Além das características essenciais definidas anteriormente para os Blocos e para as Estruturas NOREF alguns dispositivos podem melhorar a sua eficiência hidráulica e estrutural ou facilitar o processo construtivo.

Os Blocos NOREF poderão assim ter a alma rebaixada nas suas faces superior e/ou inferior (Fig. 6). O objectivo destes dispositivos é assegurar a comunicação entre câmaras e facilitar, desta forma, o alívio das pressões internas através do escape de ar ou de água para câmaras vizinhas.

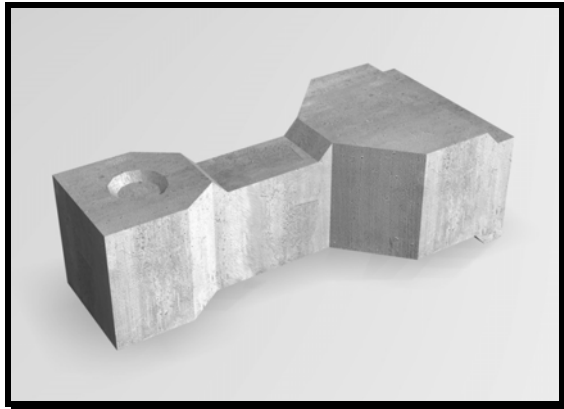


Fig. 6 – Bloco com sistema de encaixe



Fig. 7 – Bloco de base

Com o objectivo de melhorar a estabilidade e o comportamento estrutural do conjunto, os blocos poderão, igualmente, ser dotados de dispositivos que assegurem uma melhor ligação entre eles.

Uma alternativa é disporem de um furo vertical na cabeça dos blocos, que serão posteriormente selados em conjunto formando uma coluna de solidarização (Fig. 7). Para tal é necessário prever um negativo na cabeça de cada bloco onde será introduzido um elemento estrutural vertical contínuo (perfil metálico ou armaduras de aço), desde a laje do bloco de fundação até à superestrutura. O furo é posteriormente selado e o elemento estrutural integrado na laje de coroamento betonada “in situ”, solidarizando-se desta forma todo conjunto.

Outra alternativa é disporem de um sistema de encaixe tipo macho-fêmea no centro da cabeça e no tardo do bloco (Fig. 6).

Não propriamente para garantir a ligação entre colunas de blocos adjacentes, mas para impedir a fuga de finos, através das juntas verticais, dos materiais que constituem o prisma de alívio, foi também estudado um dispositivo de obstrução.

No caso dos Blocos NOREF a possibilidade de fuga de finos é agravada não só pela pressão gerada pelas ondas que incidem nas câmaras e que penetram pelas juntas, como pelo facto da superfície de contacto lateral entre blocos ser reduzida, quando comparada com as estruturas de blocos tradicionais.

O referido dispositivo é conseguido à custa de uma reentrância deixada nas faces laterais do tardo dos blocos (Fig. 7) que, depois de justapostos, formam cavidades que se desenvolvem em altura. Estas, são posteriormente betonadas, criando-se assim uma barreira que impede a passagem dos finos.



2.4 – Domínio de aplicação de Blocos NOREF

O domínio da técnica em que se integra este tipo de estruturas é o das Obras Hidráulicas (Marítimas, Estuarinas e Fluviais), com especial destaque para as Infra-estruturas Portuárias Acostáveis. Dentro destes domínios existem actualmente problemas por solucionar, nomeadamente os relacionados com os efeitos da reflexão causada por estruturas constituídas por paredes verticais quando sobre elas incidem ondas, quer provenientes da agitação residual que penetra no interior das bacias portuárias, quer geradas localmente pelo vento ou pela passagem de embarcações.

As estruturas artificiais que delimitam os planos de água em geral, e as bacias portuárias em especial, podem ser agrupados em três tipos:

- Estruturas verticais contínuas, constituídas por paredes moldadas, estacas-prancha, caixotões de betão armado, muros de gravidade (“in situ”, blocos de betão simples, aduelas de betão armado, etc.). Estas estruturas são habitualmente acostáveis mas poderão ser apenas de contenção de terras quando condicionamentos de espaço o recomendem;
- Estruturas em talude, mais ou menos inclinado, constituído habitualmente por lajes de betão (“in situ” ou prefabricadas) ou enrocamento. Estas estruturas são muitas vezes utilizadas para contenção das terras;
- Estruturas verticais descontínuas, do tipo ponte, constituídas quase sempre por uma laje superior contínua, assente sobre uma fundação descontínua (estacas, tubulões, caixotões, colunas de blocos ou de aduelas, gabiões de estacas pranchas, etc.). Estas estruturas são acostáveis e podem estar ou não aderentes a uma estrutura em talude de contenção de terras.

2.5 – Eficiência hidráulica

Ao propagarem-se nos planos de água, as ondas incidem nas estruturas que os delimitam. Em função da capacidade de dissipação de energia destas estruturas, as ondas incidentes retornam parcialmente ao meio em que se estavam a propagar. Ao fenómeno traduzido pelo retorno das ondas dá-se a designação de reflexão [1] [2] [7] [9] [10].

A quantificação deste fenómeno é feita, normalmente, através da relação entre a altura da onda reflectida (H_r) e da onda incidente (H_i) e designa-se por coeficiente de reflexão $R = H_r/H_i$.

O coeficiente de reflexão depende de vários parâmetros, uns relacionados com as características da onda, outros relacionados com as características do meio físico envolvente e outros ainda com as características da própria estrutura.

Quanto aos parâmetros relativos às características da onda incidente, os mais importantes são:

- Altura da onda – H ;
- Comprimento de onda – L ;
- Período da onda – T ;
- Direcção da onda em relação à estrutura.

Quanto ao meio físico envolvente, os principais parâmetros que podem igualmente influenciar o fenómeno da reflexão de ondas são a profundidade da água (d) e a inclinação do fundo (i), em frente à estrutura.

Na análise dos fenómenos de reflexão assumem normalmente relevância os parâmetros adimensionais H/L (declividade da onda) e d/L (profundidade relativa) por serem os que melhor traduzem a geometria da onda.

Finalmente a capacidade reflectora/dissipadora das estruturas, depende em grande medida das suas próprias características, nomeadamente:

- Porosidade (ou transparência) da superfície aparente que constitui o ecrã reflector e onde incide a onda;



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

- Configuração e volume dos vazios situados por detrás desse ecrã reflector.

Do fenómeno da reflexão, que se traduz no retorno das ondas incidentes, resulta um movimento ondulatório formado pela sobreposição das ondas incidentes (H_i) com as reflectidas (H_r), podendo pontualmente a amplitude deste quase duplicar em relação à altura da onda incidente [4] [5]. As consequências que advêm deste fenómeno não se prendem apenas com as perturbações que causam no interior de bacias portuárias, prejudicando as condições de abrigo e segurança das embarcações, mas também com a possibilidade das ondas galgarem as estruturas envolventes, alagando os terraplenos adjacentes e pondo em causa a operacionalidade dos cais.

A eficiência hidráulica destas estruturas pode ser avaliada em primeiro lugar pelo Coeficiente de Reflexão ($R = H_r/H_i$) e, complementarmente, pelo coeficiente de início de galgamento ($G = H_g/H_i$) onde H_g é a altura acima da superfície da água em repouso a partir da qual se dá o galgamento da estrutura.

Ambos os coeficientes são dependentes dos mesmos parâmetros, tanto os relativos às características da onda e da envolvente como os relativos às estruturas. Sendo os primeiros mais difíceis de modificar e controlar, procura-se intervir na configuração das estruturas com o objectivo de minimizar estes coeficientes. No caso das Estruturas NOREF, a intervenção consiste em transformar as estruturas verticais, lisas e impermeáveis em estruturas verticais, descontínuas e porosas, com elevada capacidade de dissipação de energia.

Embora já tenham sido elaborados vários estudos neste domínio, a relação entre a configuração das estruturas e o coeficiente de reflexão não é bem conhecida.

Como valores de referência, característicos das estruturas mais comuns, apontam-se os seguintes [5] [6] [11]:

- 0,9 a 1,0 para estruturas verticais contínuas mais ou menos planas;
- 0,3 a 0,5 para taludes permeáveis de enrocamento;
- 0,1 a 0,2 para rampas suaves impermeáveis.

De acordo com a bibliografia da especialidade, para que as estruturas perfuradas sejam eficientes do ponto de vista hidráulico, é necessário que a porosidade da face exposta esteja compreendida entre 15 e 40% e a profundidade das câmaras deve estar compreendida entre 1/10 a 1/4 do comprimento da onda local [8].

Quanto aos galgamentos, embora ainda não existam métodos de dimensionamento, estudos já efectuados demonstraram que para porosidades da ordem dos 30%, obtêm-se reduções no galgamento da mesma ordem de grandeza.

Para as Estruturas NOREF que apresentam porosidades e comprimentos de câmara da ordem dos indicados, esperava-se obter coeficientes de reflexão entre 0,4 e 0,7 (em função dos períodos em presença – menores períodos, menores coeficientes de reflexão) e reduzir até cerca de 30% o coeficiente de início de galgamento, quando comparado com o das estruturas verticais, lisas e impermeáveis.

Estas expectativas, como se verá mais à frente, só foram confirmadas para ondas de curto período.

2.6 – Particularidades estruturais dos Blocos e das Estruturas NOREF

A concepção geométrica dos blocos está inicialmente condicionada pelas dimensões da câmara de dissipação, dado que a eficiência hidráulica da estrutura depende principalmente da profundidade e da largura das referidas câmaras. Assim, após o estudo do comportamento hidráulico da estrutura são definidas aquelas dimensões e, depois de assegurados aspectos de segurança de ordem estrutural, chega-se à geometria final do bloco.

Os aspectos de segurança de ordem estrutural passam pelo estabelecimento das dimensões que assegurem a estabilidade do cais, designadamente a segurança ao deslizamento, ao derrubamento e tensões na fundação, evitar tensões elevadas nas superfícies de contacto



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

horizontais entre blocos e também otimizar a geometria dos blocos de forma a reduzir a excentricidade do centro de gravidade de modo a facilitar o seu transporte e colocação.

Estão ainda previstos dispositivos que são de extrema importância para a garantia do bom comportamento estrutural da Estrutura NOREF. Esses dispositivos, já referidos em 2.3, são a coluna de solidarização e o dispositivo de obstrução.

A moldagem da superestrutura apresenta também uma particularidade que distingue as Estruturas NOREF das estruturas tradicionais. Esta particularidade deve-se à existência das câmaras de dissipação que originam vãos na superestrutura entre cada coluna de blocos. Este aspecto terá de ser tido em conta tanto no dimensionamento das armaduras da laje da superestrutura como no processo construtivo.

O aspecto estrutural e construtivo pode ser tratado isoladamente ou em conjunto. No primeiro caso, efectuando o dimensionamento da laje e prevendo uma cofragem recuperável ou perdida. No segundo caso, prevendo a aplicação de lajes prefabricadas em betão armado – pré-lajes – que não só desempenharão funções estruturais como funcionarão como cofragem perdida.

2.7 – Vantagens comparativas do invento

As ESTRUTURAS NOREF apresentam várias vantagens quando comparadas com as estruturas convencionais, sejam elas os cais verticais de blocos ou caixotões, os cais em estrutura mista, descontínua, formada por pórticos que avançam sobre taludes de enrocamento, pontes-cais em pilares de aduelas ou retenções marginais verticais ou em talude. As principais vantagens das ESTRUTURAS NOREF são:

- Reduzidos coeficientes de reflexão e de galgamento quando comparados com outras estruturas verticais contínuas;
- Reduzida ocupação de espaço quando comparada com outras estruturas absorventes;
- Melhores condições de estabilidade quando comparadas com outras estruturas de gravidade em blocos prefabricados;
- Vasta possibilidade de aplicações em estruturas acostáveis ou não acostáveis;
- Processos construtivos convencionais e simples, quer para os blocos individuais quer para a sua montagem;
- Custos competitivos quando comparados com outras estruturas de betão simples ou armado com dimensões e funções análogas.

A grande vantagem de utilização destas estruturas está assim na atribuição de elevada capacidade de dissipação de energia a estruturas verticais contínuas, constituídas por peças prefabricadas em betão simples, ocupando pouco espaço e permitindo a sua utilização na acostagem de embarcações.

3 – APLICAÇÃO DOS BLOCOS NOREF “N” NUMA ESTRUTURA NOREF “Q” NOS CAIS DO NOVO TERMINAL MULTIUSOS DO PORTO DE LEIXÕES

3.1 – Caracterização sumária do porto de Leixões

O porto de Leixões localiza-se na Costa Noroeste da Península Ibérica, a cerca de 2,5 milhas a norte da foz do rio Douro, na foz do rio Leça. Trata-se de um porto artificial, cujo abrigo é conseguido por dois molhes, tendo o norte cerca de 1800 m e o sul 950 m. Na curva do molhe norte nasce um terceiro molhe com cerca de 1000 m.

O porto de Leixões é a segunda maior infra-estrutura portuária do país. A área portuária abrange 5 km de cais, 55 ha de terraplenos e 120 ha de área molhada. Dispõe de um Terminal Petrolero com três postos, Terminal de Contentores com seis docas, Terminal Roll-on Roll-off, cais convencionais de Carga Geral e Granéis Sólidos, cais de movimentação de Granéis Líquidos,

sector de pesca com três pontes-cais que permitem a acostagem em simultâneo de 46 traineiras e 20 arrastões e Doca de Recreio – Marina Porto Atlântico – para 250 embarcações.

3.2 – Justificação da aplicação dos Blocos NOREF no muro-cais

No presente caso, está-se perante a necessidade de construir três novos cais acostáveis: a Estrutura de Avanço do Cais do Molhe Sul, com 308 m de comprimento e os Novos Cais com 184 m de extensão, no troço para fundos de serviço de -8,50 m (ZHL), e 55 m, no troço para fundos de serviço de -5,00 m (ZHL). Estas estruturas irão situar-se no interior do Porto de Leixões, mais precisamente no intradorso do Molhe Sul.



Fig. 8 – Implantação do novo Terminal Multiusos do Porto de Leixões

Actualmente, a maioria das estruturas existentes no porto de Leixões são caracterizadas por apresentarem paramentos verticais opacos altamente reflectores, pelo que, não se considera aconselhável a construção de novas estruturas também elas reflectoras, para que não se agravem as condições de agitação no interior da bacia.

Desta forma, optou-se por propor uma alternativa em Blocos NOREF por se tratar de uma estrutura pouco reflectora, cujas características hidráulicas se adequam à situação em presença.

De acordo com o estudo realizado para a APDL [12], pelo Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos da Universidade do Porto, estes cais implantam-se numa das zonas mais abrigadas da bacia portuária. A agitação que neles incide pode ter três origens distintas:

- i. resultar da agitação residual proveniente do sector W/SW que, embora seja pouco frequente, é a que penetra no ante-porto e atinge o interior da bacia portuária, e cujos valores da altura da onda, para os períodos mais frequente ($T = 10$ s), variam entre 0,15 e 0,4 m, para períodos de 12 s variam entre 0,2 e 0,7 m e para períodos de 14 s variam entre 0,2 e 0,8 m;
- ii. ser gerada pelo vento local com rumos do sector N/NW, cuja frequência é relativamente elevada, mas cuja extensão do plano de água (fetch) não permite gerar ondas superiores a 0,5 m e períodos de 2 s, mesmos com ventos de elevada intensidade;
- iii. pode ainda ser gerada pela passagem de embarcações cuja ondulação, sendo a velocidade condicionada, não afecta as estruturas circundantes.

Esta solução estrutural alternativa consiste numa estrutura aparentemente contínua, mas pouco reflectora, formada por blocos prefabricados de betão simples. Esta solução melhora as características do cais acostável, tornando-o mais eficiente do ponto de vista operacional. Ela é mais fácil de executar e tem menos problemas de manutenção e reparação. Consequentemente, tem menores riscos de inoperacionalidade.

Esta alternativa conjuga as vantagens das estruturas abertas e pouco reflectoras, no que respeita aos efeitos de amortecimento das ondas incidentes (cais em estacas), com as vantagens das estruturas contínuas constituídas por blocos maciços prefabricados, no que respeita aos aspectos construtivos e de manutenção (do tipo muros de gravidade).

3.3 – Descrição da estrutura do muro-cais em Blocos NOREF

A estrutura objecto desta comunicação, é contínua, constituída por colunas de blocos de betão simples em forma de “I”, que assentam sobre o prisma de fundação à cota -9,00 m (ZHL), constituído por enrocamento TOT.

A face acostável do cais contínuo inclui cavidades que lhe conferem um elevado grau de porosidade e consequentemente lhe reduzem as suas características reflectoras. As cavidades são conseguidas à custa da diminuição da largura do banzo exterior e da alma dos blocos “I”, conforme consta da figura seguinte.

As cavidades foram dimensionadas de forma a conferir à estrutura uma porosidade de aproximadamente 40%, com que se esperaria obter uma eficiência hidráulica que se traduz na redução substancial do coeficiente de reflexão e dos galgamentos.

As cavidades apresentam 0,92 m de largura e desenvolvem-se entre as cotas -8,30 m (ZHL) e +4,5 m (ZHL). O prolongamento das cavidades acima do nível da água tem o objectivo de facilitar a saída do ar “encurralado” pela massa de água, aliviando assim as pressões que actuam sobre a estrutura.

Com o objectivo de melhorar a estabilidade do conjunto, os blocos possuem, no centro da cabeça, um furo circular vertical, no qual será betonada uma coluna de solidarização.

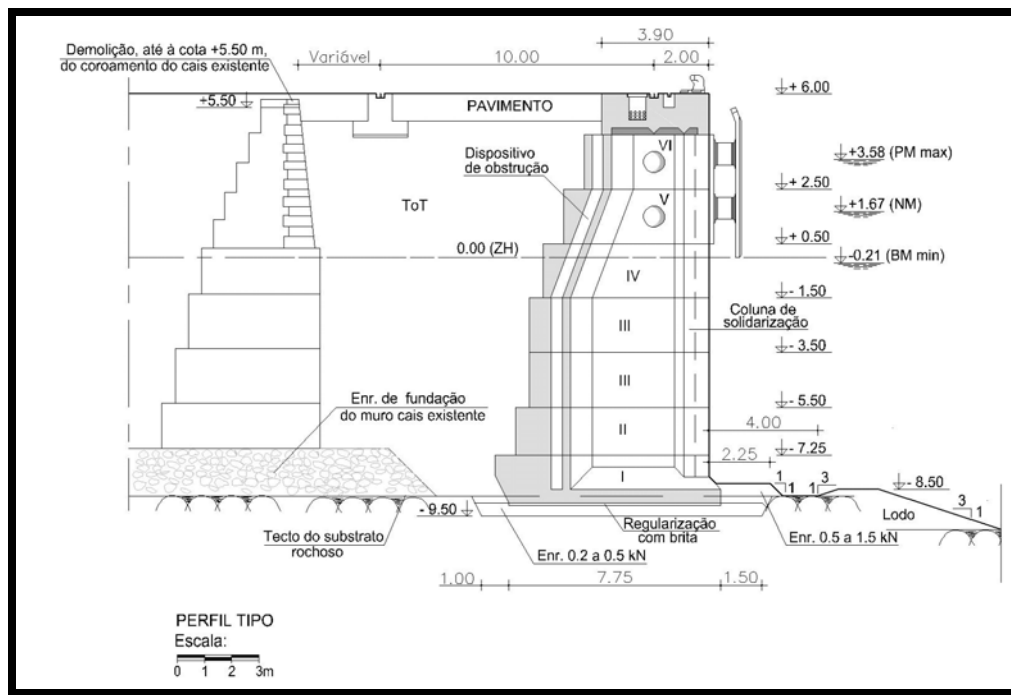


Fig. 9 a) – Corte tipo do muro-cais em Blocos NOREF

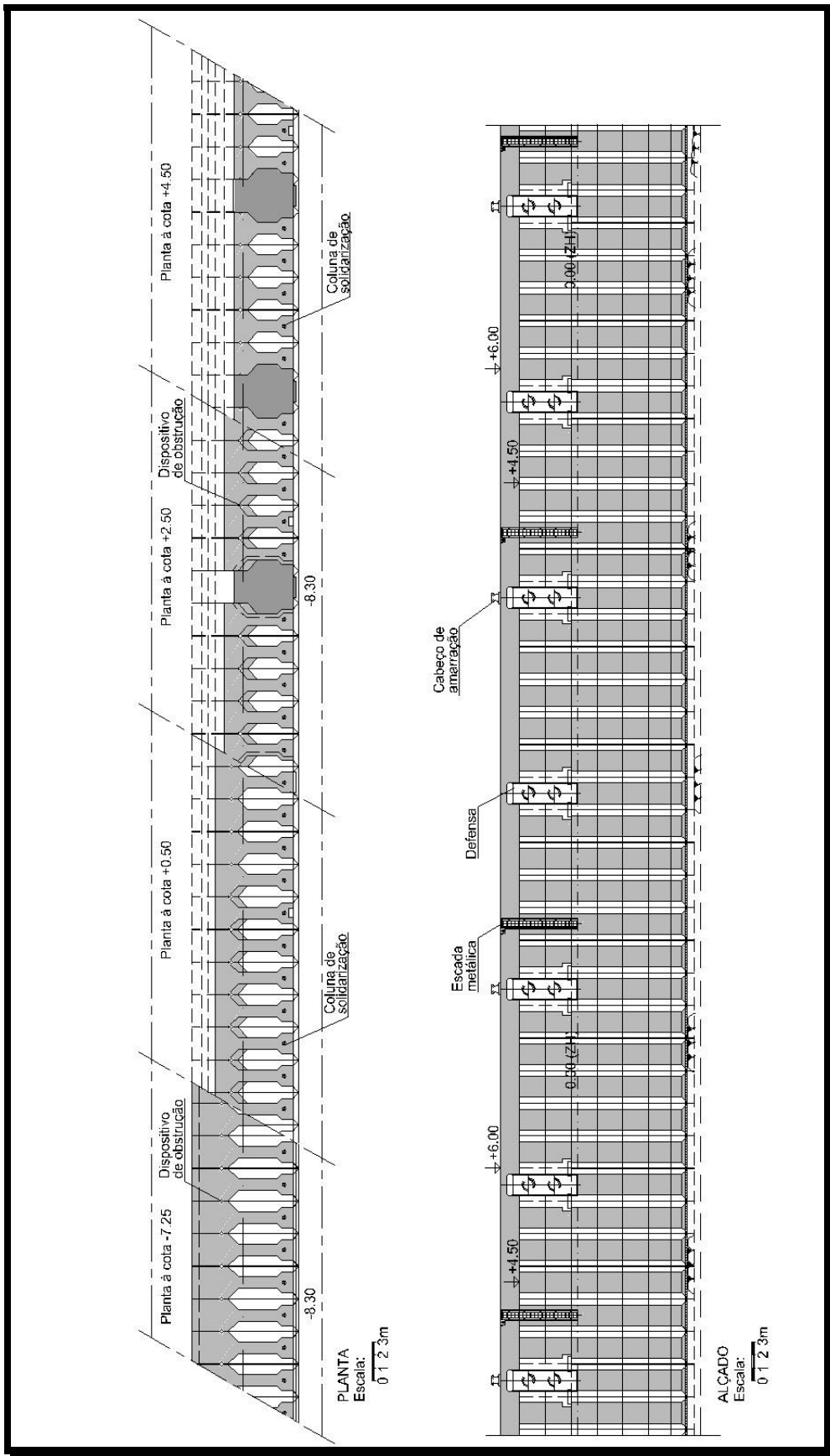


Fig. 9 b) – Planta e alçado do muro-cais em Blocos NOREF



3.4 – Dimensionamento das câmaras de dissipação

Embora não existam métodos de dimensionamento consolidados, a experiência já adquirida neste domínio permite fazer uma avaliação qualitativa da redução do coeficiente de reflexão. O dimensionamento das aberturas (porosidade) e extensão das câmaras é realizado tendo em conta o regime de agitação médio.

Na bibliografia da especialidade [8] é referido que com porosidades da ordem dos 30% (neste caso a porosidade é 40%) obtém-se uma redução do coeficiente de reflexão que pode variar entre 0,3 a 0,7. A redução destes coeficientes depende, não só da porosidade, mas também do comprimento das câmaras de dissipação que, por sua vez, se relaciona com os períodos das ondas incidentes, sendo a relação $B/Ld = 0,20$ (B – comprimento da câmara; L – comprimento de onda à profundidade junto ao cais) a que conduz a menores coeficientes de reflexão ($Cr = 0,30$).

Aplicando a fórmula de cálculo proposta no PROVERBS obtém-se coeficientes de reflexão da ordem dos 0,75 para períodos de 10 s e 0,30 para períodos de 4 s, o que demonstra que a eficiência destas estruturas está dependente das condições de geração das ondas (residual oceânica, gerada localmente pelo vento ou pela passagem de embarcações), assim como com a sua frequência e duração de actuação.

Sabendo que a agitação oceânica (maiores períodos) que penetra no ante-porto e atinge a bacia portuária é pouco frequente, admite-se que o tipo de agitação que irá incidir nesta estrutura com maior frequência será a gerada localmente pelo vento e a gerada pela passagem de embarcações (pequenos períodos), pelo que se pressupõe que a eficiência hidráulica da estrutura proposta, no que diz respeito à reflexão, será consideravelmente elevada. Foi com base nestes pressupostos que se efectuou o dimensionamento do cais em Blocos NOREF.

4 – ESTUDO EM MODELO FÍSICO REDUZIDO BIDIMENSIONAL DA EFICIÊNCIA HIDRÁULICA DOS BLOCOS NOREF

Com o objectivo de avaliar a eficiência hidráulica da estrutura em Blocos NOREF, foram realizados ensaios em modelo físico reduzido, pela equipa do Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), liderada pelo Professor Catedrático Veloso Gomes.

Nos pontos seguintes apresenta-se uma descrição sumária do modelo, programa de ensaios, resultados e principais conclusões. Uma descrição mais pormenorizada deste estudo pode ser encontrada em [13].

4.1 – Modelo e programa de ensaios

As características geométricas da estrutura ensaiada em modelo correspondem a uma versão simplificada do protótipo, tendo sido as câmaras de dissipação rigorosamente reproduzidas. Durante os ensaios foram alterados vários parâmetros relacionados com as características das ondas incidentes (altura de onda e período) e níveis de maré, tendo sido mantida a geometria das câmaras de dissipação inalterada.

Os ensaios foram realizados para as seguintes condições:

- Escala: 1:30 (modelo: protótipo);
- Níveis de maré: +1,9 m (ZHL) – maré média e +3,8 m (ZHL) – preia-mar;
- Alturas de onda significativa: 0,5; 0,75; 1 e 1,5 m;
- Períodos: 3; 4; 5 e 6 s;
- Direcção: normal à estrutura;
- Estruturas: cais tipo NOREF e cais totalmente vertical para comparação de resultados entre estruturas perfuradas e totalmente lisas;
- Largura das estruturas: foram ensaiadas estruturas com duas larguras distintas – 60 e 15 m (2 e 0,5 m no modelo) – com o objectivo de avaliar a influência de possíveis efeitos tridimensionais;
- Número de ensaios realizados: 138.

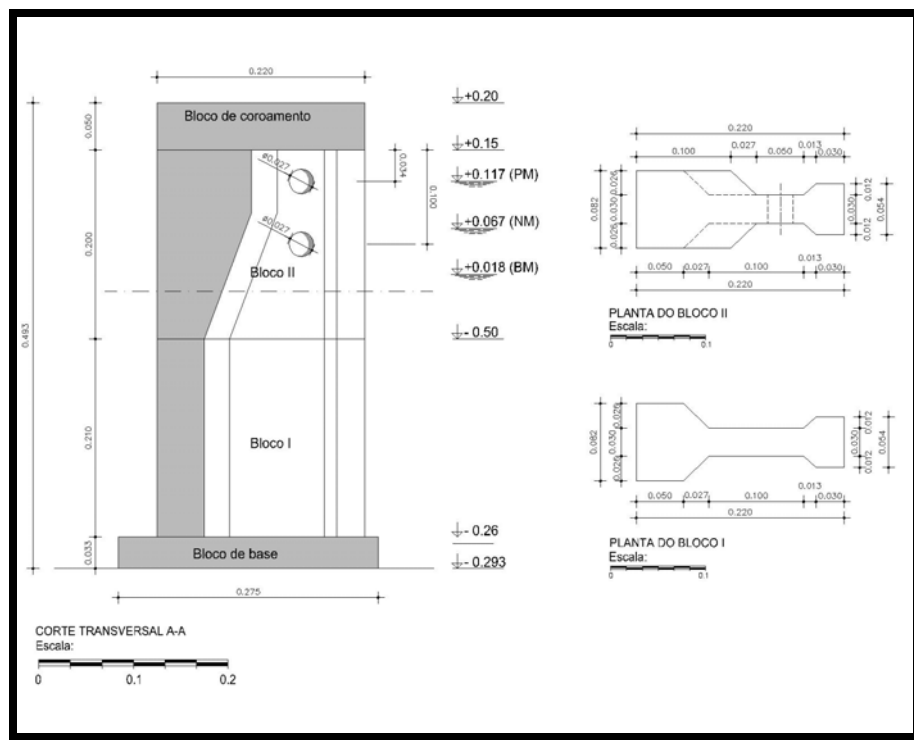
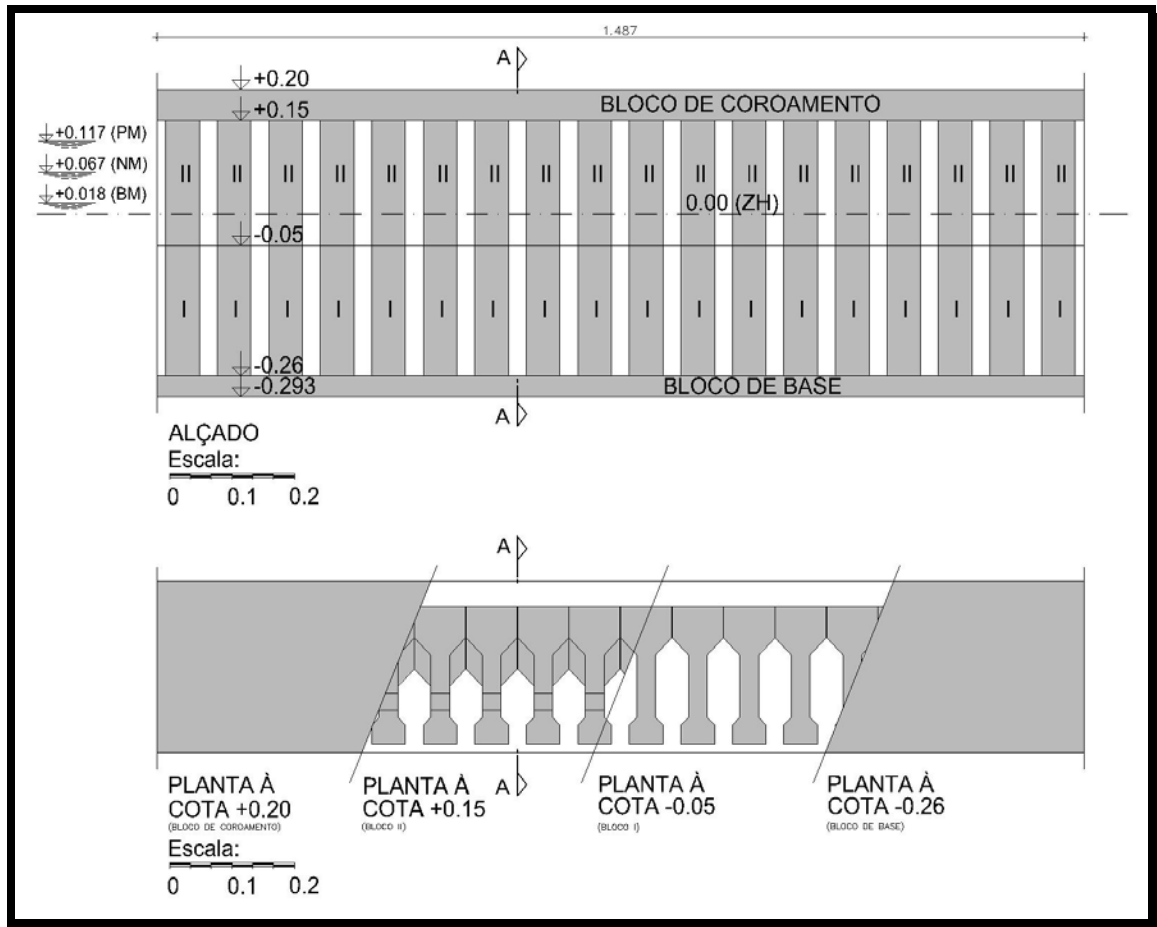


Fig. 10 – Planta, alçado e corte do modelo

4.2 – Resultados obtidos

No quadro seguinte apresenta-se o intervalo de variação dos coeficientes de reflexão (R) obtidos para cada período de onda (T), com o nível da água correspondente à maré média e preia-mar, respeitantes a larguras de cais com 2 e 0,5 m no modelo, respectivamente [13].

QUADRO 4 – Coeficientes de reflexão – Síntese de resultados

Período da onda T (s)	Estrutura com 2 m				Estrutura com 0,5 m			
	Maré média +1,9m (ZH)		Preia-mar + 3,8m (ZH)		Maré média +1,8m (ZH)		Preia-mar + 3,8m (ZH)	
(1)	R mín. (2)	R máx. (3)	R mín. (4)	R máx. (5)	R mín. (6)	R máx. (7)	R mín. (8)	R máx. (9)
3	0,55	0,68	0,53	0,66	0,50	0,65	0,43	0,63
4	0,71	0,88	0,59	0,76	0,63	0,77	0,52	0,68
5	0,80	0,89	0,77	0,84	0,76	0,87	0,67	0,83
6	0,85	0,92	0,87	0,92	0,84	0,90	0,80	0,88

A título de exemplo no gráfico seguinte apresentam-se os coeficientes de reflexão obtidos para os vários períodos de onda (T), para uma largura de cais em Blocos NOREF de 0,5 m no modelo e um nível de água correspondente à preia-mar. Este gráfico corresponde aos ensaios cujos valores dos coeficientes de reflexão são indicados nas colunas 8 e 9 do Quadro 4.

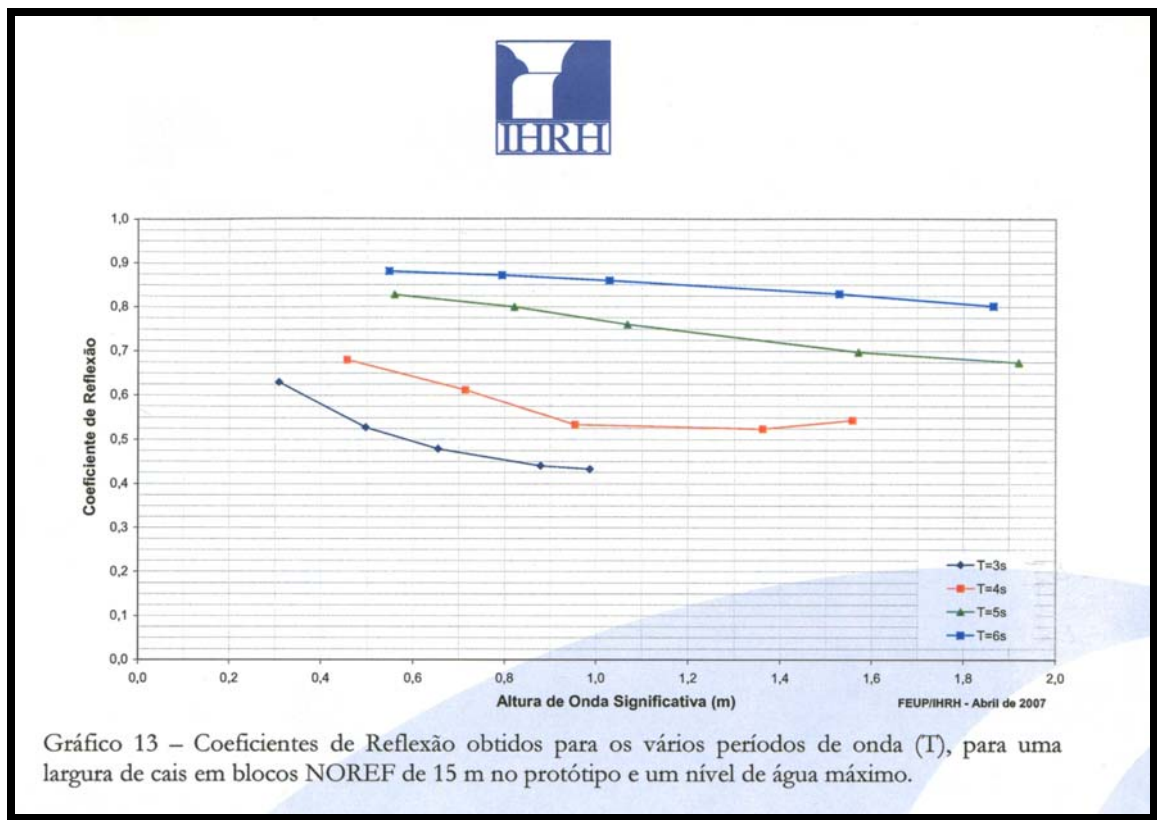


Fig. 11 – Relação do coeficiente de reflexão com o período e altura da onda. Gráfico extraído do estudo da FEUP/IHRH – Abril de 2007

Da análise dos resultados tiram-se as seguintes principais conclusões:

- O coeficiente de reflexão aumenta com o aumento do período e diminui com o aumento da altura da onda;
- Nas situações de ensaio com preia-mar (maiores profundidades) foram registados menores coeficientes de reflexão;



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

- As condições para as quais a Estrutura NOREF apresenta maior eficiência hidráulica (menores coeficientes de reflexão), são as correspondentes a períodos de onda de 3 e 4 s;
- Para períodos de onda de 6 s, os coeficientes obtidos com a estrutura perfurada são próximos dos obtidos com a estrutura totalmente reflectora;

Na avaliação da eficiência hidráulica das Estruturas NOREF efectuada neste estudo não foi possível analisar a influência dos seguintes factores:

- Porosidade da face exposta (relação entre área perfurada e a área total da face) e sua relação com o período das ondas incidentes;
- Comprimento das câmaras de dissipação e sua relação com o período das ondas incidentes;
- Configuração interior das câmaras de dissipação que geram uma maior turbulência e dissipação de energia;
- Ângulo de incidência das ondas menos favorável à reflexão;
- Influência das cavidades de comunicação entre câmaras na dissipação da energia das ondas.

Não foi também possível testar uma gama de períodos e alturas de onda mais alargada, bem como de profundidades.

4.3 – Análise comparativa dos resultados obtidos com os expectáveis

4.3.1 – Considerações gerais sobre os métodos de dimensionamento hidráulico das câmaras de dissipação encontrados na bibliografia da especialidade

As estruturas perfuradas apresentam uma capacidade de atenuação da energia das ondas incidentes que resulta de vários mecanismos, nomeadamente devido à turbulência e ressonância [8] que ocorre no interior das câmaras de dissipação e, a sua eficiência hidráulica depende dos seguintes factores:

- Porosidade da face exposta;
- Profundidade das câmaras de dissipação;
- Configuração interna das câmaras.

Além destes factores, as características das ondas incidentes, designadamente o período, e a profundidade da água junto à estrutura, que condiciona o comprimento de onda, influenciam significativamente a capacidade de atenuação deste tipo de estruturas.

Conforme já referido, para que este tipo de estrutura seja eficiente, a porosidade (n) da face exposta, definida como sendo a relação da área das aberturas e a área total da parede, deve variar entre 15 a 40% e a profundidade da câmara (B) deve variar entre $1/10$ a $1/4$ do comprimento de onda no local (L) [8].

Embora não existam métodos de dimensionamento consolidados, a experiência já adquirida neste domínio permite fazer uma avaliação qualitativa da redução do coeficiente de reflexão. Existem duas fórmulas distintas para o fazer: uma que relaciona a porosidade (n) com o coeficiente de reflexão (C_r) e tem em conta a porosidade (n), a altura da onda incidente (H_i) e a profundidade junto ao cais (d) [3] [8] e outra, um pouco mais complexa, que relaciona a profundidade relativa das câmaras (B/L) com o coeficiente de reflexão (C_r) e tem em conta a profundidade junto ao cais (d), o período da onda (T) e a profundidade das câmaras (B) [8], sendo esta última, a que oferece maior confiança.

Na bibliografia da especialidade refere-se ainda que para porosidades da ordem dos 30% (neste caso a porosidade é 38%) se obtém uma redução do coeficiente de reflexão que pode variar entre 0,3 a 0,6. A redução destes coeficientes depende não só da porosidade, mas também do comprimento das câmaras de dissipação que, por sua vez, se relaciona com os períodos das ondas incidentes, sendo a relação $B/L = 0,20$ (B – comprimento da câmara;

L – comprimento de onda à profundidade (d) junto ao cais) a que conduz a menores coeficientes de reflexão ($C_r = 0,30$) (ver gráfico da Fig. 12).

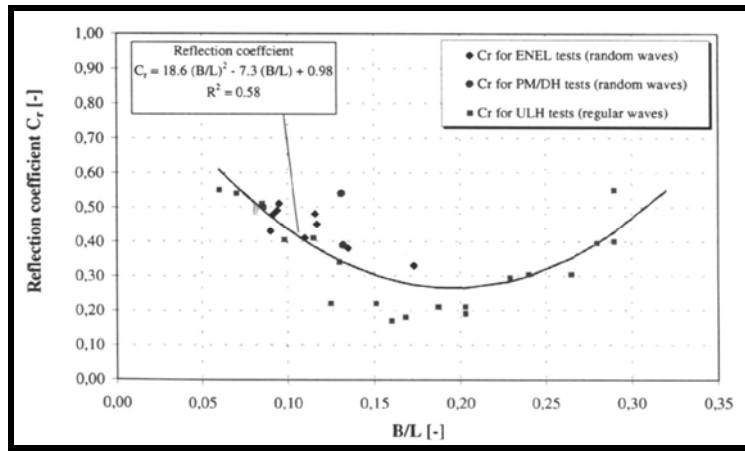


Fig. 12 – Coeficientes de reflexão em função da comprimento relativo das câmaras [8]

Sobre a configuração interna das câmaras que conduzem a maiores dissipações de energia pouca informação bibliográfica existe. No entanto, alguns estudos efectuados sobre esta matéria demonstraram que são as que promovem a formação interior de vórtices intensos as que apresentam melhor comportamento hidráulico.

4.3.2 – Método de cálculo adoptado

Para a estimativa da eficiência hidráulica da estrutura perfurada tipo NOREF prevista para os cais do novo Terminal Multiusos foi utilizada a fórmula proposta no PROVERBS (Probabilistic Design Tools for Vertical Breakwaters) [8] que é dada pela seguinte expressão:

$$C_r = 18.6 \left(\frac{B}{L} \right)^2 - 7.3 \left(\frac{B}{L} \right) + 0.98$$

em que:

C_r = Coeficiente de reflexão

B = Comprimento da câmara

L = Comprimento de onda junto à estrutura

Substituindo na fórmula as variáveis, designadamente o comprimento da câmara e comprimento de onda correspondentes às situações de nível médio e preia-mar, obtêm-se os respectivos coeficientes de reflexão. Na figura seguinte apresentam-se os resultados da aplicação da fórmula para a situação de preia-mar e compara-se com os valores medidos (média dos valores indicados nas colunas 8 e 9 do quadro 4).

Da análise do gráfico da Fig. 13 constata-se que, apesar de as curvas apresentarem um desenvolvimento semelhante, há uma discrepância significativa entre os valores medidos e os valores calculados. Não se sabe em rigor a que se deverá supondo-se, no entanto, que poderá eventualmente resultar do facto de:

- a fórmula proposta no PROVERBS ter sido deduzida tendo por base ensaios em quebra-mares perfurados (conhecidos por Jarlan), estruturas geralmente sujeitas a condições de agitação muito mais severas, e distintas das que foram consideradas nos ensaios efectuados com os Blocos NOREF. A avaliar pelos resultados obtidos nos ensaios realizados pelo IHRH, os coeficientes de reflexão diminuem com o aumento da onda, e os quebra-mares são geralmente sujeitos a alturas de onda consideravelmente maiores do que as consideradas nos ensaios. São também sujeitos a períodos de onda mais elevados, sendo estes, por sua vez, responsáveis por coeficientes e reflexão maiores. Resta saber qual dos parâmetros, para determinada combinação altura período de onda, assume maior influência no fenómeno da reflexão;
- por outro lado, a fórmula foi deduzida para uma configuração interior das câmaras que se desconhece em rigor, mas que se supõe ser do tipo célula quadrangular ou rectangular, consideravelmente diferente da configuração das câmaras obtidas com os Blocos NOREF, cuja geometria pode não corresponder às mais eficientes para efeitos de geração de turbulência e conseqüente dissipação de energia;

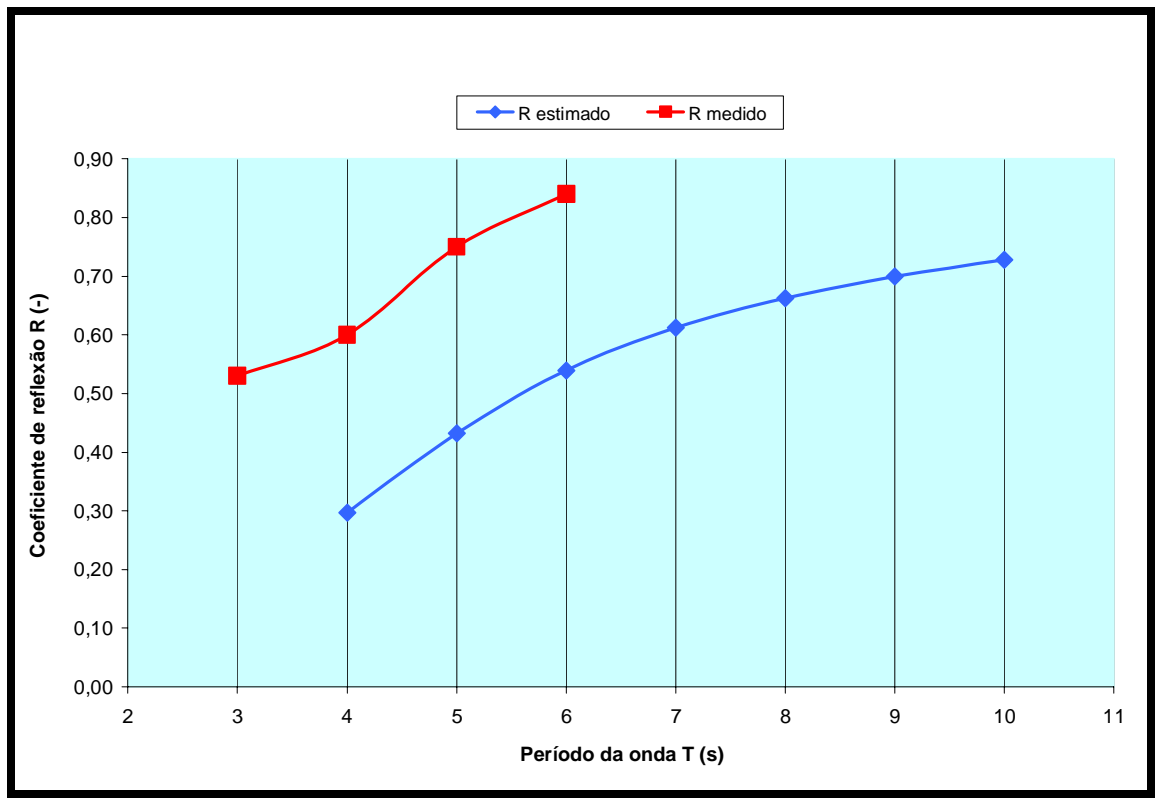


Fig. 13 – Relação do coeficiente de reflexão com o período

5 – CONSTRUÇÃO

Para a construção dos blocos tipo NOREF previstos na Empreitada de Construção do Novo Terminal Multiusos, o Consórcio Irmãos Cavaco/OFM/SETH decidiu adoptar dois locais de produção: uma área do estaleiro central de Irmãos Cavaco, em Santa Maria da Feira, e o próprio estaleiro da obra, junto ao Molhe Sul do Porto de Leixões.

Assim, no estaleiro da obra foi construída uma eira de prefabricação em betão armado, sobre o terraplano do Molhe Sul, com mais de 1000 m², para construção dos blocos mais pesados, do tipo I, II e III, com pesos unitários entre as 45 e as 67 ton.

Para a movimentação das cofragens e dos blocos betonados procedeu-se à montagem de um pórtico rolante de 100 ton, e correspondentes vigas de rolamento.

No estaleiro de Santa Maria da Feira, onde se constroem os blocos menos pesados, dos tipos IV, V, e VI, com pesos entre 31 e 42 ton, tirou-se partido da existência de uma eira de prefabricação ali construída e dos meios de apoio à produção ali alocados, nomeadamente meios de elevação e carga e uma central de produção de betão. Os blocos fabricados nesse estaleiro são posteriormente transportados para a obra por rodovia, em veículos de transporte especial.

Dada a configuração particular dos blocos, o número elevado de blocos a fabricar e considerando a alta rotação dos moldes a utilizar, construíram-se cofragens metálicas especialmente criadas para o efeito, constituídas por painéis metálicos reforçados com treliças metálicas. Estas cofragens foram concebidas para que fossem constituídas cada uma por quatro painéis, ligados entre si nas arestas, permitindo uma descofragem rápida, sem prejuízo da qualidade final da peça betonada, ao fim de 24 horas. As cofragens são montadas sobre uma tela plástica, que impede o contacto entre a massa de betão do bloco e a eira construída.

Existiram igualmente preocupações ambientais quanto ao tipo de descofrante a utilizar, tendo sido empregue um produto que não contém hidrocarbonetos na sua composição.



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

A aplicação de betão é efectuada através de balde ou com bomba, no caso do estaleiro de Leixões, sendo por descarga directa no estaleiro da Feira, onde se aplicaram umas rampas metálicas para permitir aos camiões vencer a altura das cofragens, respeitando simultaneamente a altura de descarga recomendável.

Após a descofragem, que se efectua com o apoio de meios de elevação, é imediatamente aplicado um produto de cura química às superfícies exteriores do betão, que reduz as perdas de água por evaporação, produto esse que é igualmente isento de cloretos.

Considerando as áreas de fabrico disponíveis, avaliando as necessidades e ritmos de produção e tendo em conta o preconizado no Caderno de Encargos relativamente à idade das peças para movimentação, constatou-se que o período para permanência das peças na eira de fabrico antes da primeira movimentação seria de 3 dias, para o fabrico na obra.

Tendo em consideração a área disponível na Feira, esse período pôde ser alargado para os 7 dias.

Nessa medida, foram feitos estudos preliminares aos betões a empregar, da classe C35/45 ECL3, com ensaios de compressão aos 3 e 7 dias, dos quais resultaram tensões superiores a 30 Mpa, quer no betão fornecido para o estaleiro de Leixões, quer para o estaleiro da Feira.

Estes valores da tensão à compressão são superiores à tensão mínima definida no Caderno de Encargos para a movimentação das peças de betão.

Em seguida estudou-se um sistema de movimentação das peças que deveria satisfazer dois objectivos: permitir movimentar o bloco em segurança e ser facilmente utilizável dentro e fora de água.

Considerou-se que a forma de responder a estes objectivos seria utilizar um equipamento de suspensão, constituído por uma viga metálica reforçada da qual são suspensos dois elementos metálicos que por sua vez suspendem o bloco.

Esses elementos atravessam o bloco na vertical, através de negativos deixados na peça, rodando em seguida sobre o seu eixo, como uma chave, e prendendo o bloco.

Sendo assim, foi necessário calcular a tensão induzida nos blocos nas zonas de contacto com estes elementos metálicos verticais, o que se verificou compatível com a resistência obtida nos ensaios de compressão efectuados.

Para a localização dos negativos a deixar nos blocos iniciou-se por calcular os centros de gravidade de cada uma das 6 configurações de blocos, sendo em seguida colocadas as cofragens dos negativos em pontos equidistantes do centro de massa.

De referir que a movimentação de qualquer bloco para fora da eira de fabrico é sempre precedida de ensaios à compressão da amostra de betão retirada do seu fabrico, o que permite validar a possibilidade de o movimentar, por conhecimento da tensão resistente do bloco construído.

O sistema de movimentação dos blocos constituiu uma preocupação com destaque e importância neste processo, dada a configuração assimétrica dos volumes a betonar, sendo importante garantir que as peças seriam transportadas niveladas.

Depois de retirados da eira de fabrico, os blocos são colocados em stock na zona próxima da zona de trabalhos, dentro da área consignada, aguardando a sua colocação na água, para a construção das novas frentes acostáveis.

Sobre os terraplenos existentes são construídas camas com materiais agregados provenientes de pedra: uma primeira camada de regularização e suporte em tout-venant e uma camada superior em gravilha, permitindo a drenagem das águas superficiais.

Os blocos são empilhados uns sobre os outros, com os mais pesados em baixo, garantindo também as margens de segurança no que respeita à capacidade de suporte dos terraplenos sobre os quais são armazenados e demais estruturas portuárias.



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

Chegada a altura da colocação na água, os blocos são carregados com grua para um meio de transporte até à frente de obra, onde uma segunda grua os descarregará e colocará no local previsto.

Dados os elevados pesos unitários dos blocos e as distâncias de colocação, às duas frentes de colocação de blocos são alocadas gruas com capacidade superior a 250 toneladas.

A operação de colocação de blocos, bem como as tarefas que a antecedem, como a execução das bases de assentamento em enrocamento na vala de fundação, são feitas por equipas de mergulhadores, apoiados por meios topográficos.

Considerando a configuração particular dos Blocos NOREF, não é possível encostar blocos contíguos ao longo de toda a sua face lateral, uma vez que existe um espaço aberto para o lado da água que materializa, no conjunto de duas peças, a câmara de dissipação de energia.

Sendo assim, considerou-se a utilização de uma peça metálica, amovível pelo mergulhador, que permita servir de batente entre a parte anterior do bloco a colocar e o bloco que imediatamente o precede.

A colocação dos blocos dar-se-á por concluída quando, por aplicação de uma sobrecarga, os assentamentos de cada coluna de peças seja o preconizado no Caderno de Encargos.

6 – CONCLUSÃO

A estrutura em Blocos NOREF proposta para os cais do novo Terminal Multiusos de Leixões foi submetida a ensaios hidráulicos em modelo físico reduzido bidimensional, realizados no Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Os ensaios visaram testar especificamente esta estrutura, tendo o programa sido limitado às condições de agitação característica da bacia onde a estrutura irá ser inserida, designadamente ondas de curto período geradas localmente pelo vento ou pela passagem de embarcações.

Os valores obtidos nos ensaios e os estimados pelo método proposto no PROVERBS não são coincidentes tendo, no entanto, sido demonstrado que as estruturas em Blocos NOREF são particularmente eficientes para condições de agitação caracterizada por ondas de curto período (3 a 4 s).

Nestes ensaios não foi possível analisar a influência de determinados factores, designadamente da porosidade da face exposta, relação entre o comprimento da câmara de dissipação e o período da onda, contribuição da configuração interna das câmaras na dissipação da energia das ondas incidentes e sua relação com o período da onda, influência do ângulo de incidência da onda, efeito das cavidades de comunicação entre câmaras na dissipação da energia, etc., aspectos estes que deverão ser objecto de estudos futuros.

As estruturas pouco reflectoras têm sido objecto de intensos e inúmeros estudos por parte da comunidade científica internacional. São disso exemplo mais visível os quebra-mares perfurados também conhecidos por Jarlan, cuja abordagem hidrodinâmica é muito semelhante à dos cais, embora estes estejam sujeitos a condições de agitação mais severas.

São também conhecidos estudos e obras executadas com outros tipos de blocos perfurados, embora em menor número. Os blocos Igloo já foram aplicados na construção de cais no Japão. Dos blocos Warok conhecem-se aplicações em Cadiz, Vigo e Japão. Os Monobar em Itália e os ARC na França. Embora estes blocos apresentem um bom comportamento hidráulico, apresentam também uma série de desvantagens relacionadas especialmente com a moldagem, devido à complexidade da sua geometria, e manutenção, devido ao facto de incorporarem armaduras.

Perante a necessidade de construir estruturas acostáveis, pouco reflectoras, sem os problemas construtivos e de manutenção inerentes às estruturas que incorporam armaduras, surgiram as estruturas em Blocos NOREF, de eficiência hidráulica semelhante a outras já existentes, mas onde as maiores desvantagens destas foram eliminadas.



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

Pretende-se com esta solução apresentar uma alternativa que consiste numa estrutura aparentemente contínua e pouco reflectora, mas formada por blocos prefabricados de betão simples. Ela é mais fácil de executar e tem menos problemas de manutenção e reparação. Consequentemente, tem menores riscos de acidentes e de inoperacionalidade. Este tipo de estrutura conjuga as vantagens das estruturas abertas e pouco reflectoras, no que respeita aos efeitos de amortecimento das ondas incidentes, com as vantagens das estruturas contínuas constituídas por blocos maciços prefabricados.

Finalmente, no que se refere a custos de construção, verifica-se que as estruturas em Blocos NOREF não são mais onerosas, quando comparadas com estruturas de betão simples ou armado com dimensões e funções semelhantes.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Allsop, N.W.H., 1995, *Vertical Walls and Breakwaters: Optimization to Improve Vessel Safety and Wave Disturbance by Reducing Wave Reflections*, Wave Forces on Inclined and Vertical Wall Structures, ASCE.
- [2] Allsop, N.W.H. and McBride M.W. 1994, *Reflections from Vertical Walls: the Potencial for Improvement in Vessel Safety and Wave Disturbance*, Proc. of Int. Workshop of Wave Barriers in Deepwaters, Japan.
- [3] Bergmann H., Oumeraci H. (199) *Hydraulic Performance of Perforated Structures*, Proceedings 5th COPEDEC, Cape Town, April 1999, pp. 1340-1349.
- [4] BS 6349, Part 1, 1984, *British Standard Code of Practice for Marine Structures*, 4th Am., BSI, London, England.
- [5] CERC, *Shore Protection Manual*, 1984, 4th Ed., U. S. Army Waterways Experiment Station, Coast. Engrg. Res. Ctr., Vicksburg, Miss.
- [6] Goda Y., 1985, *Random Seas and Design of Maritime Structures*, Tokyo, University of Tokyo Press.
- [7] Hall, K. and Thomson, G., 2001, *Predition of Wave Transmisson Through Single and Multiple Wave Screens*, Coastlines, Structures and Breakwaters, London.
- [8] Oumeraci, H., Kortenhaus, A., Allsop, W., Groot, M., Crouch, R., Voortman, H., 2001, *PROVERBS – Probabilistic Design Tools for Vertical Breakwaters*, A.A. Balkema Publishers, Tokyo.
- [9] Nakamura, T. and Kohno, T., 2001, *Development of a Pile-supported Breakwater with Dissipative Front Walls*, Coastlines, Structures and Breakwaters, London.
- [10] Negro, V. and Alonso, E., 1999, *Technological Innovations in the Conceptual Design of Vertical Breakwaters*, Proc. of Int. Conf. Coastal Structures'99, Spain.
- [11] Simm J.D. (ED), 1991, *Manual on the Use of Rock in Coastal and Shoreline Engineering*, CIRIA/CUR Special Publication 83, London.
- [12] IHRH 1993, *Volume 1 – Estudos de Agitação no Porto de Leixões, Porto*.
- [13] IHRH 2007, *Estudo em Modelo Físico da Eficiência Hidráulica dos Blocos NOREF, Porto*.