



4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária  
Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

## CAIS DE GRAVIDADE COM RECURSO À UTILIZAÇÃO DE BLOCOS TIPO NOREF. PROJECTO E CONSTRUÇÃO

Lucília Luís<sup>(1)</sup>, Fernando Oliveira<sup>(2)</sup>, Marlene Dias<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Consulmar – Projectistas e Consultores, Lda, Av. Joaquim António de Aguiar, 27-9º  
1099-062 Lisboa. lucília.luis@consulmar.pt, mdias@consulmar.pt

<sup>(2)</sup>OFM - Obras Públicas, Ferroviárias e Marítimas, S.A. Lagoas park, effício 1, piso 2,  
2740-264 Porto Salvo. fo@ofm.pt

### RESUMO

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 no muro-cais de gravidade do Porto de Pesca da Afurada, cuja construção se encontra em curso.

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

Tanto a necessidade de construir estruturas acostáveis que não introduzam alteração negativa das condições de tranquilidade dentro das bacias portuárias onde se inserem, como a construção de novas bacias onde os níveis de agitação admitidos são muito baixos (p.e. marinas) e ainda como estruturas de atenuação da agitação, tem vindo a conduzir ao aparecimento de estruturas verticais contínuas pouco reflectoras. Um desses tipos de estruturas são as formadas pelos Blocos tipo NOREF.

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 elevada 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.

Os Blocos NOREF surgiram aquando do estudo de Soluções Variantes para a estrutura do Cais de Atracação de Ferries no porto de Vila do Porto na Ilha de Santa Maria. Esta Variante foi concebida com o intuito de alterar a estrutura do cais acostável apresentada na Proposta Base, por forma a eliminar alguns dos aspectos estruturais e funcionais menos positivos e simultaneamente propor uma solução com menos condicionantes e mais flexível do ponto de vista da operacionalidade do cais, mais simples do ponto de vista construtivo, mais económica, de fácil e reduzida manutenção.

Este tipo de blocos e estruturas por eles formados foram objecto de patente nacional em 2002. Têm sido aplicados em vários projectos, nomeadamente no Novo Terminal Multiusos do Porto de Leixões, nalgumas das estruturas que compõem o Terminal Marítimo de Ponta Delgada (Cais de Recepção do novo Núcleo Náutico e Cais de Controlo do Núcleo Náutico existente),



## 4<sup>a</sup>s Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

na estrutura de atenuação do efeito das ondas no Interface do Terreiro do Paço, na Doca de Pesca Local do Porto da Madalena e está a ser construído um muro-cais em Blocos NOREF, pela primeira vez, no cais de pesca da Afurada, na foz do rio Douro.

A construção deste tipo de estruturas tem por objectivo minimizar os problemas de agitação no interior dos planos de água (bacias portuárias, canais, lagoas, albufeiras, etc.), resultantes da reflexão de ondas, através da substituição das usuais estruturas constituídas por paredes verticais, planas e contínuas, por estruturas com cavidades que lhes conferem elevado grau de porosidade e capacidade de dissipação de grande parte da energia incidente, sem que isso lhes retire a possibilidade de serem utilizadas como estruturas acostáveis.

Neste caso particular, estas estruturas integram um muro-cais acostável de um porto de pesca, mas poderão também ser aplicadas em estruturas de acostagem para embarcações de comércio, recreio, turismo, lazer, etc. Podem igualmente ser aplicadas nas estruturas de retenção marginais ou na estrutura de pontes-cais.

A configuração dos Blocos NOREF obriga 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

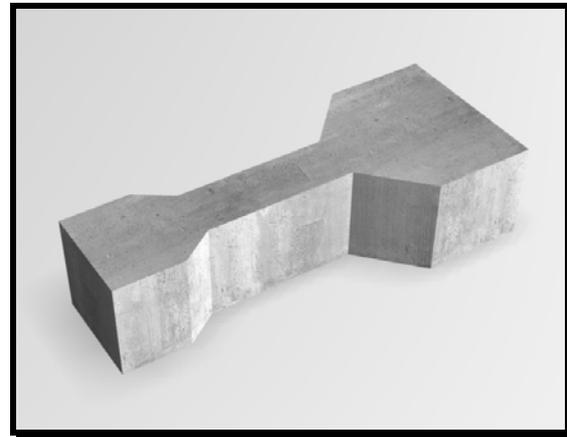
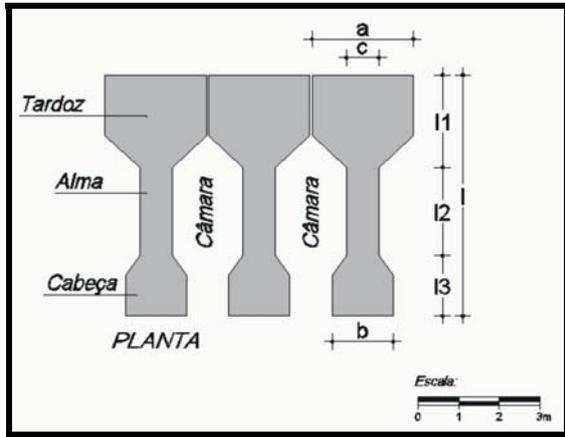


Fig. 1 – Blocos NOREF N

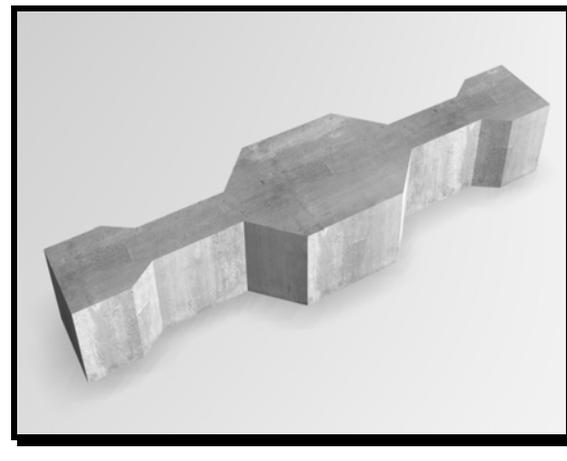
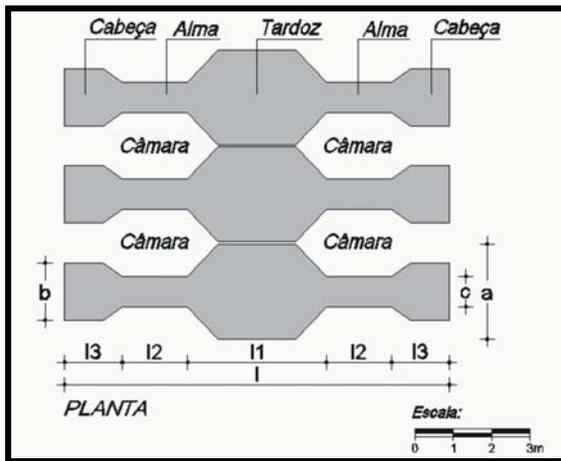


Fig. 2 – Blocos NOREF S

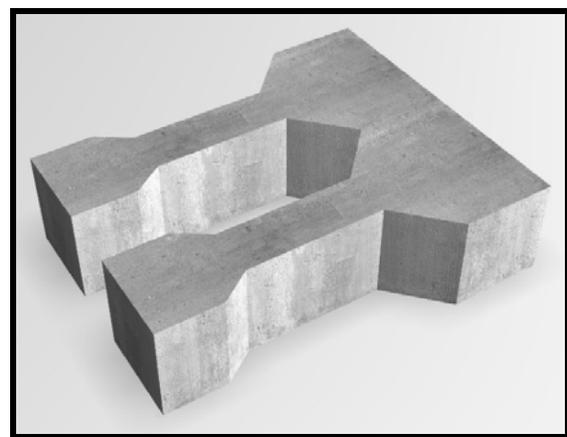
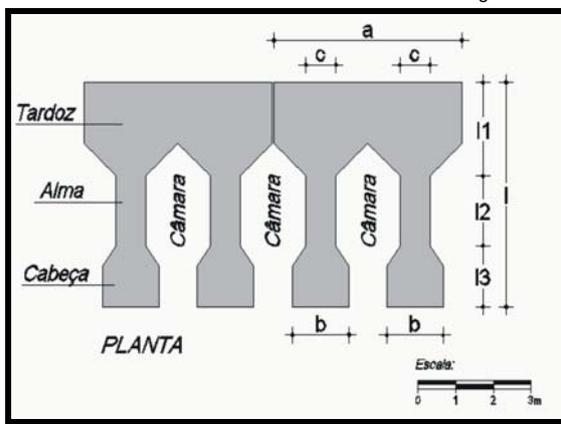


Fig. 3 – Blocos NOREF D

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).

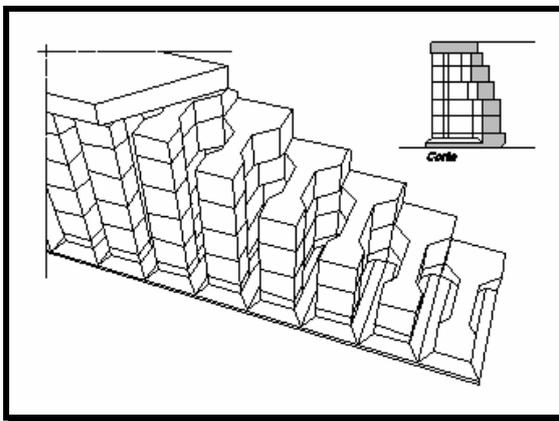


Fig. 4 – Estrutura NOREF Q

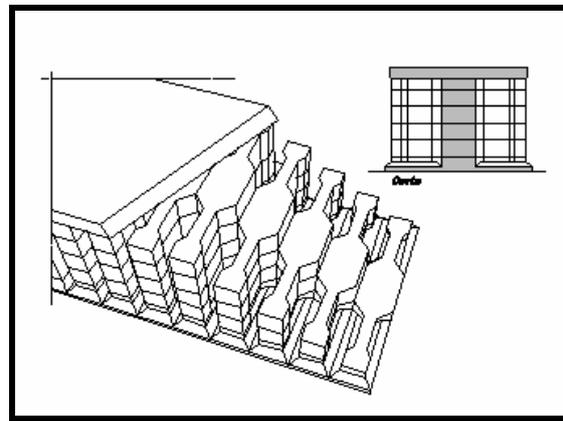


Fig. 5 – Estrutura NOREF J

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.

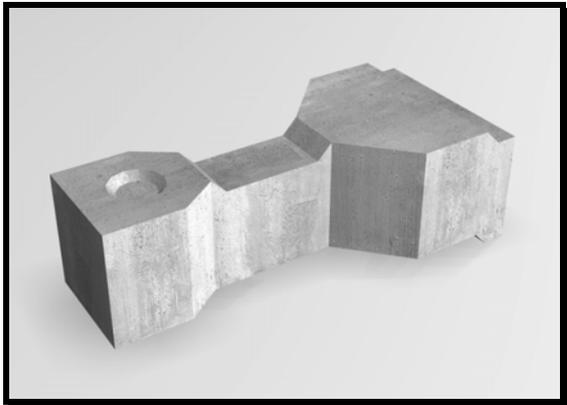


Fig. 6 – Bloco com sistema de encaixe



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.



## 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

### 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 pranchas, 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, gabions 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:



## 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

- Porosidade (ou transparência) da superfície aparente que constitui o écran reflector e onde incide a onda;
- Configuração e volume dos vazios situados por detrás desse écran 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 terraços 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, espera-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.

### 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 tanto da profundidade como 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



## 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

horizontais entre blocos e também otimizar a geometria dos blocos por 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” NO CAIS DA AFURADA

### 3.1 – Descrição das novas infra-estruturas marítimas do núcleo de pesca da Afurada

O núcleo de pesca da Afurada localiza-se no estuário do Rio Douro, na sua margem esquerda, junto de uma povoação com o mesmo nome, a cerca de 2 km da embocadura. As instalações de pesca, com condições muito precárias, dispunham em terra apenas de um pequeno terraplano onde era feito o estacionamento das embarcações a seco e onde se instalavam os armazéns de aprestos. As estruturas marítimas consistiam apenas num pequeno molhe-cais que abrigava uma exígua bacia de estacionamento e uma rampa-varadouro para alagem das embarcações.

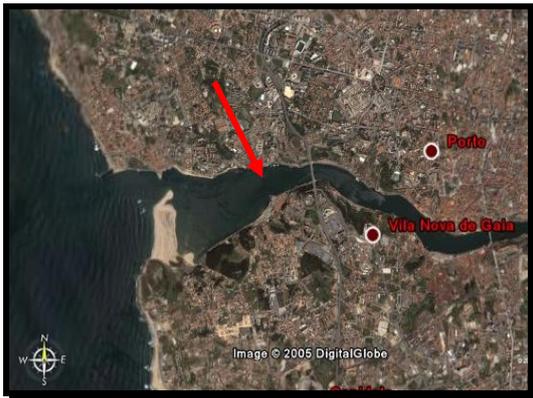


Fig. 8 - Foz do Rio Douro



Fig. 9 - Núcleo Piscatório da Afurada

As novas infra-estruturas, a construir no âmbito do programa GaiaPolis, englobam a criação de uma plataforma que se estende ao longo da margem por cerca de 200 m, o prolongamento do molhe-cais existente em cerca de 50 m, a construção de um cais com 110 m de frente acostável, uma pequena ponte cais com cerca de 30 m, a instalação de um pontão flutuante e a realocização da rampa de alagem.

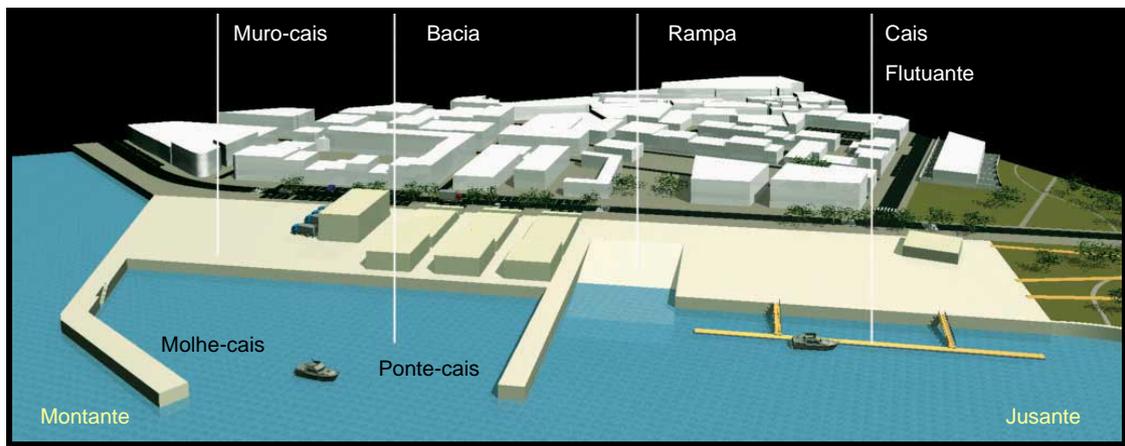


Fig. 10 – Visualização tridimensional esquemática do porto

Com estas obras cria-se uma bacia de estacionamento de cerca de 16,5 ha, confinada a NW pelo prolongamento de molhe-cais, a NE pelo cais acostável adjacente à plataforma urbana e a S pela ponte-cais. A entrada na bacia portuária processa-se por SE através de uma abertura de cerca de 60 m. A jusante localiza-se a nova rampa com cerca de 50 m de comprimento e 26 m de largura e o cais flutuante com 75 m de comprimento.

Esta obra foi estimada em cerca de 2,9 M€, correspondendo 750 000 € à construção do muro-cais em Blocos NOREF.

### 3.2 – Caracterização das condições naturais locais

#### 3.2.1 – Marés

As marés na costa portuguesa são do tipo semi-diurno regular, apresentando amplitudes médias da ordem de 2,0 m e máximas próximas de 4 m. Na zona de implantação do porto, apesar de ser no interior do estuário, os valores característicos não diferem muito das marés em costa aberta. Os níveis de maré indicados nas figuras são referidos ao ZH de Cantareira (NM = 1,77 m).

### 3.2.2 – Ventos

De acordo com os dados, extraídos de uma publicação de 1989 do Serviço de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, da estação sinóptica mais próxima, o regime de ventos local pode caracterizar-se, em termos anuais, do seguinte modo:

- Os ventos dominantes (mais fortes) no conjunto anual apresentam a seguinte ordem decrescente ..... NW,S,E,W e SW,N,SE,NE
- Os ventos mais rápidos no conjunto anual apresentam a seguinte ordem decrescente ..... S,SW,NW,W e SE,E,N,NE
- Os ventos reinantes (mais frequentes) no conjunto anual apresentam a seguinte ordem decrescente ..... E,NW,N,W e S,SW,SE,NE
- A velocidade média anual é de 12,6 km/h, variando entre 7,9 e 20,2 km/h, consoante o rumo

### 3.2.3 – Caracterização da agitação

#### a) – Caracterização da agitação oceânica incidente

Para avaliação da agitação local resultante de ondas oceânicas propagadas através da embocadura, recorreu-se aos estudos em modelo matemático MOHID realizados pela empresa Hidromod para os Molhes do Douro. Estes estudos mostraram que os índices de agitação mais desfavoráveis ocorrem para agitação exterior de W10S, obtendo-se índices inferiores a 5-10%, imediatamente a leste da Cantareira, diminuindo depois para montante.

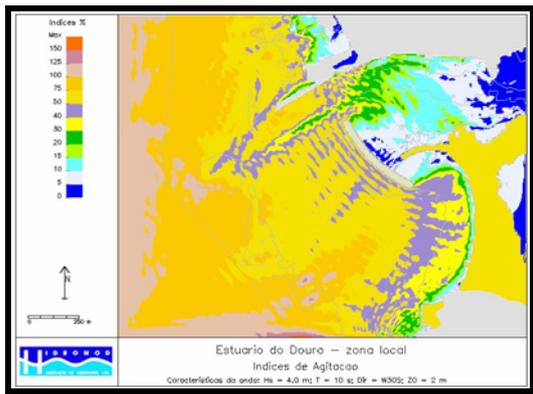


Fig.11a) - Índices de agitação para uma onda proveniente de W30S com  $T = 10$  s e;  $H_s = 4.0$  m

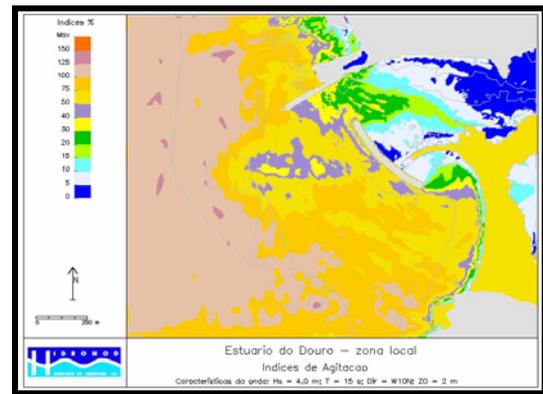


Fig.11b) - Índices de agitação para uma onda proveniente de W10N com  $T = 15$  s e;  $H_s = 4.0$  m

Estes valores que diminuem com o aumento da altura da onda exterior dão, muito excepcionalmente, origem a alturas significativas interiores com valores máximos da ordem de 0,3 m para períodos de pico de 10,0 s no local.

#### b) – Caracterização da agitação gerada localmente pelo vento

Para o cálculo dos valores extremos da vaga local, recorreu-se a ábacos e formulações de cálculo de agitação gerada pelo vento, propostos por diversos autores, tratam-se de métodos paramétricos, empíricos, baseados em dadas configurações espectrais. Para o efeito, foram seleccionados os três métodos mais representativos, aplicáveis ao caso corrente: uma bacia fechada, de largura limitada e profundidade “finita”. Todos os métodos preconizam a correcção do “fetch” mobilizado para um “fetch” efectivo inferior, em função do leque de “fetch” passível de atingir o local (Saville e Donelan) ou do período e altura máximos possíveis (Vincent). Os valores obtidos, tomando para a velocidade do vento 90 km/h, são os seguidamente apresentados.



## 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

**QUADRO 4 – Altura significativa, Hs, e período de pico, Tp, para período de retorno de 30 anos**

Referência	Espectro	Método	Hs (m)	Tp (s)
CIRIA/CUR 1991	SMB	Saville	0,80	3,9
	JONSWAP	Donelan	0,64	2,5
CEM 2002	JONSWAP	Vincent	0,76	2,0

### 3.3 – Justificação da aplicação dos Blocos NOREF no muro-cais

A escolha do tipo de estruturas que delimitam a bacia portuária teve em conta os seguintes aspectos:

- Características das estruturas existentes a prolongar;
- Funções atribuídas;
- Tipo de agitação incidente;
- Condições de tranquilidade que se pretende conferir à bacia;
- Correntes induzidas pelo caudal do rio.

Sendo o prolongamento do molhe-cais uma estrutura a implantar obliquamente ao leito do rio, na continuidade do existente, formado por uma estrutura de gravidade em colunas de aduelas de paramento vertical contínuo, e estando este sujeito à acção das correntes, optou-se por uma estrutura aberta, que permite a livre circulação da água, evitando a concentração de correntes junto à estrutura e eventuais erosões, ainda que à custa de perda de eficiência no grau de abrigo contra a agitação. A solução adoptada consiste assim em oito pilares de aduelas de betão armado, afastados entre si de 4,20 m, sobre os quais assenta o tabuleiro. A mesma opção foi feita para a estrutura da ponte-cais, também esta perpendicular à margem, embora a sua interferência na circulação das águas seja muito inferior. Neste caso a estrutura é composta apenas por 4 pilares de aduelas.

Relativamente às funções atribuídas, prevê-se que todas as estruturas sejam acostáveis (à excepção da rampa-varadouro), sendo o molhe-cais e a ponte-cais acostável em ambas as faces. Este tipo de exigência obriga normalmente a optar por estruturas verticais contínuas ou por estruturas porticadas que, nas situações em que estas últimas também têm como função conter os aterros dos terraplenos adjacentes, implantam-se sobre contenções em talude de enrocamento (estruturas mistas).

Do ponto de vista hidráulico as estruturas verticais contínuas, sejam elas formadas por blocos de betão simples ou armado (aduelas e caixotões) ou ainda por paredes moldadas ou estacas-prancha, apresentam a desvantagem de serem altamente reflectoras, enquanto as estruturas mistas apresentam alguma capacidade de atenuação da agitação incidente. Estas últimas e todas as que incorporam armaduras, apresentam outras desvantagens, nomeadamente no que se refere a aspectos estruturais e funcionais que podem ser condicionantes, sendo menos flexíveis do ponto de vista da operacionalidade do cais, mais complexas do ponto de vista construtivo e exigindo ainda maior manutenção.

Assim, perante a necessidade de combinar as vantagens das estruturas de betão simples com as mistas pouco reflectoras, optou-se por prever uma estrutura perfurada em Blocos NOREF, que simultaneamente permite a acostagem de embarcações, cumpre a função de contenção dos aterros e é pouco reflectora.

A capacidade de atenuação das estruturas perfuradas está directamente relacionada, entre outros parâmetros, com o período da onda e é tanto mais eficiente, quanto menor este for. Conforme se referiu no ponto relativo à caracterização da agitação, embora o local possa ser ocasionalmente atingido pela agitação oceânica que penetra no estuário, é a agitação gerada localmente pelo vento que mais afecta a tranquilidade da bacia portuária. Ora, é para este tipo de agitação (curto período) que a eficiência hidráulica destas estruturas é maior, tendo sido este mais um factor decisivo na escolha dos Blocos NOREF.

### 3.4 – Descrição da estrutura do muro-cais em Blocos NOREF

O cais da Afurada compreende uma extensão de cerca de 110 m e a sua estrutura é contínua constituída por colunas de três blocos de betão simples, que assentam sobre o prisma de fundação à cota (-3,00 m)ZH, constituído por enrocamento seleccionado. A superestrutura é materializada por uma laje de betão armado executada “in situ” na qual foram moldadas as reentrâncias para as escadas, e onde se fixam as defensas, argolas e cabeços de amarração.

A face acostável deste cais contínuo inclui cavidades que lhe conferem um elevado grau de porosidade e conseqüentemente lhe reduzem as suas características reflectoras. As cavidades são conseguidas à custa da diminuição da largura do banzo exterior e da alma dos blocos NOREF (Fig. 12).

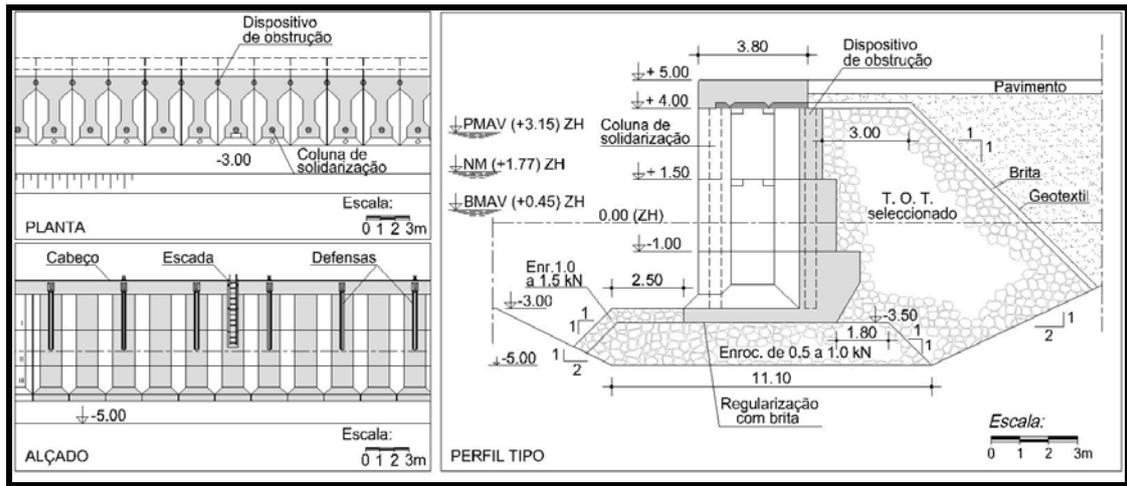


Fig. 12 – Planta, alçado e corte do muro-cais do porto da Afurada

As cavidades foram dimensionadas por forma a conferir à estrutura uma porosidade de aproximadamente 40%. Na face acostável, apresentam 1,0 m de largura, no interior apresentam 1,70 m, e desenvolvem-se em toda a altura do cais, entre o fundo à cota (-3,0 m)ZH e a superestrutura que inicia à cota (+4,0 m)ZH (cotas referidas ao ZH da Cantareira NM = 1,77 m). Em comprimento apresentam 3,50 m. O prolongamento das cavidades acima do nível da água tem o objectivo de facilitar que o ar “encurrulado” pela massa de água se escape, aliviando assim as pressões que actuam sobre a estrutura. Os rasgos na alma dos blocos têm o objectivo de permitir a comunicação longitudinal entre câmaras e contribuem igualmente para o alívio das pressões através do escape de ar ou de água.

Para melhorar o comportamento estrutural do conjunto, foi prevista uma coluna de solidarização. Esta é conseguida à custa da selagem de um perfil metálico HEB200 que é colocado no furo cilíndrico (0,40 m de diâmetro) previsto na cabeça dos blocos. Este perfil prolonga-se para além da coluna de blocos por forma a ficar inserido na laje da superestrutura, que após betonada, garante a solidarização de todo o conjunto.

Para garantir que não haja fuga de finos dos materiais constituintes do prisma de alívio, foi também previsto um dispositivo de obstrução. Este consiste em criar nas faces laterais do tardo dos blocos uma reentrância (neste caso particular consiste em meio cilindro com 0,4 m de diâmetro) que, depois dos blocos justaposto, forma um cilindro em toda a altura da coluna de blocos. Esta coluna é posteriormente preenchida com betão criando-se desta forma uma barreira à passagem de finos.

A execução da superestrutura foi realizada com recurso a lajes de betão armado prefabricadas – pré-lajes – que, para além de servirem de cofragem perdida, têm também funções estruturais. Estas pré-lajes têm uma espessura de 0,20 m e uma geometria em planta idêntica à da câmara de dissipação, apoiando-se lateralmente sobre o bordo superior dos blocos.

### 3.5 – Dimensionamento hidráulico das câmaras de dissipação

#### 3.5.1 – Considerações gerais

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, sendo tanto maior quanto menor for a profundidade [8] e menor for o período.

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 ( $Cr$ ) 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, mais complexa, que relaciona a profundidade relativa das câmaras ( $B/L$ ) com o coeficiente de reflexão ( $Cr$ ) 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 0,7. 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  $B/L = 0,20$  ( $B$  – comprimento da câmara;  $L$  – comprimento de onda à profundidade ( $d$ ) junto ao cais) a que conduz a menores coeficientes de reflexão ( $Cr = 0,30$ ) (ver gráfico da Fig. 13).

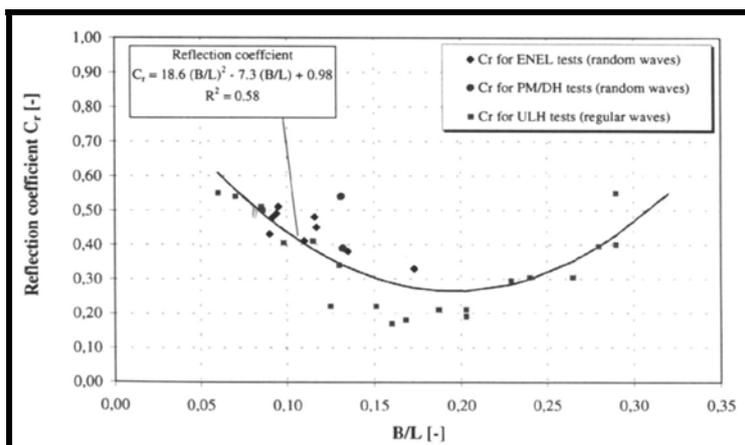


Fig. 13 – Coeficientes de reflexão em função da comprimento relativo das câmaras [8]

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

### 3.5.2 – Método de cálculo adoptado

Para o dimensionamento da profundidade das câmaras de dissipação 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:

Cr = Coeficiente de reflexão

B = Comprimento da câmara

L = Comprimento de onda junto à estrutura

Tendo em conta que a agitação na proximidade do porto corresponde essencialmente à gerada localmente pelos ventos, cujos períodos característicos estimados variam entre 2 e 4 s, e que as profundidades variam com os ciclos de maré entre 3,5 a 6,5 m, foram calculados os diferentes coeficientes de reflexão, apresentando-se os resultados no gráfico seguinte.

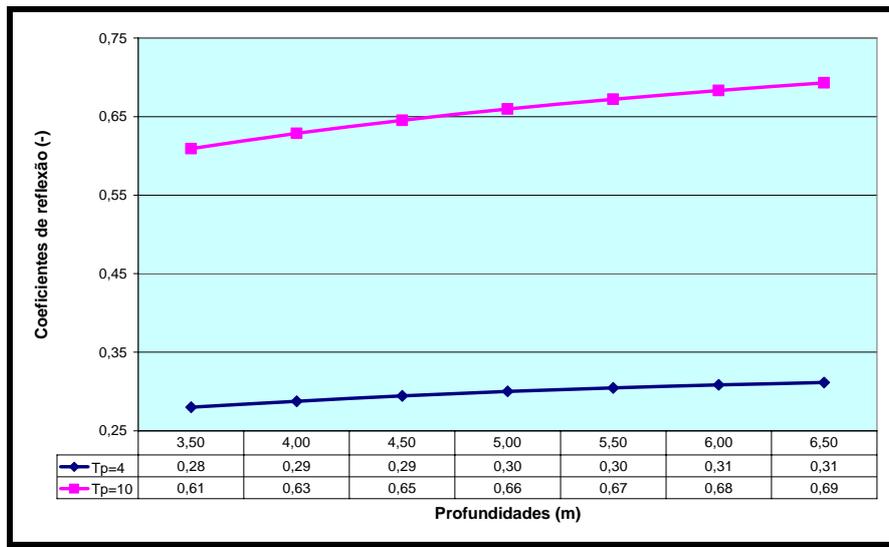


Fig. 14 – Relação entre o coeficiente de reflexão Cr e a profundidade

Da leitura do gráfico conclui-se que, para as condições presentes (porosidade  $n = 38\%$ , comprimento da câmara  $B = 3,5$  m, período da onda  $T_p = 4$  s e profundidades variáveis entre 3,5 e 6,5 m) o coeficiente de reflexão da estrutura em Blocos NOREF não ultrapassa 0,31.

Os mesmos cálculos foram efectuados considerando um período de 10 s (característico das ondas oceânicas), tendo-se obtido coeficientes de reflexão compreendidos entre 0,6 e 0,7.

## 4 – CONSTRUÇÃO

### 4.1 – Nota introdutória

O Projecto patenteado a Concurso, sobre o qual recaiu a adjudicação da Empreitada, tem características inovadoras, sendo esta a primeira vez que uma obra, utilizando os Blocos NOREF é construída em Portugal. Assim, foram tomados especiais cuidados nas etapas iniciais de construção, dando particular ênfase, na fase de preparação e planeamento dos trabalhos, ao estudo das cofragens dos blocos e aos equipamentos a mobilizar para a execução da Empreitada, tendo em atenção as características especiais das peças a prefabricar e a colocar em obra.

Os processos construtivos, nomeadamente no que diz respeito ao posicionamento dos blocos prefabricados, assume, neste caso, uma especial acuidade, dado que é preciso garantir uma colocação rigorosa dos mesmos, com tolerâncias a tender para o zero, uma vez que as exigências do assentamento milimétrico dos blocos é condição essencial de garantia, não só da contenção de fugas de material do tardoz, mas também da execução correcta da “pregagem” entre blocos da mesma coluna. Deverá ser conseguido o alinhamento perfeito dos furos que foram deixados



## 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

em cada unidade, durante a prefabricação das mesmas, com vista à execução das ligações verticais entre blocos da mesma coluna, através de perfis metálicos “chumbados” com betão “in situ”.

### 4.2 – Fase de preparação e planeamento dos trabalhos

O rigoroso desempenho exigido a todas as faces das peças prefabricadas, face a exiguidade das superfícies de contacto entre elas, quando os Blocos NOREF são colocados em obra, constituem um factor determinante no projecto das cofragem a utilizar. De facto apesar da pouca rotatividade das mesmas (número de vezes que cada cofragem é utilizada), dado que a quantidade de blocos a prefabricar não é muito grande, houve que garantir, ainda mais do que é habitual, a rigidez dos painéis metálicos, que as constituem, para evitar quaisquer possibilidades dos mesmos virem a sofrer empenos, ainda que ligeiros, durante as sucessivas reaplicações.

Um outro factor que influencia de sobremaneira a qualidade dos Blocos NOREF é a superfície da eira de prefabricação, já a mesma terá que estar completamente desempenada, quer através de um plano perfeitamente horizontal, quer pelas exigências de total ausência de quaisquer perturberâncias, ainda que imperceptíveis, pois tal impediria à partida que não se garantisse uma superfície completamente plana, como é exigido para assegurar o contacto pleno entre as superfícies dos diferentes Blocos NOREF. Assim foi projectada e construída uma eira de betão executada de acordo com os mais exigentes critérios de qualidade, nomeadamente em termos de acabamentos e desempenho da sua superfície.

A aparente fragilidade dos blocos, uma vez que não são armados, e em algumas zonas são até algo esbeltos, levou à utilização de um equipamento de movimentação dos mesmos em estaleiro, que garantisse o mínimo de perturbação possível da sua estrutura e permitisse movimentos muito sincronizados e lentos, durante as operações de elevação e depósito dos Blocos NOREF. Um pórtico de 100 ton já utilizado em estaleiros da OFM onde havia este tipo de exigências, foi a opção considerada mais correcta.

### 4.3 – Prefabricação e movimentação em estaleiros dos Blocos NOREF

A prefabricação dos blocos foi levada a efeito em estaleiro construído junto à obra, para não haver lugar a grandes transportes dos blocos até ao local de colocação, o que faz com que por um lado os custos sejam mais baixos e por outro se consiga reduzir ao máximo os riscos de acidentes que pudessem provocar danos estruturais nos blocos.

Assim, foi construída especificamente para o efeito, uma eira da betonagem em betão obedecendo ao mais rigoroso controlo de qualidade, nomeadamente no que diz respeito ao desempenho da sua superfície e à horizontalidade da mesma, por forma a garantir que os blocos que foram prefabricados sobre a superfície da eira de betonagem, tivessem não só as suas faces perfeitamente planas, mas também ficasse assegurada a perfeita geometria dos Blocos NOREF.

De ambos os lados da eira de betonagem foram montados os caminhos de rolamento do pórtico de 100 ton que seria utilizado para manusear as cofragens e proceder à movimentação dos blocos em estaleiro, incluindo o carregamento dos mesmos sobre camiões ou plataformas que os transportariam até ao local de colocação em obra (Fig. 15).

Para permitir que os blocos fossem movimentados a OFM, projectou um sistema de elevação compatível com a estrutura do bloco, não introduzindo esforços adicionais durante as operações de movimentação, transporte e colocação em obra dos Blocos NOREF (Fig. 16).

Assim, foram deixados canais verticais de secção rectangular no interior do betão entre a face superior e a base dos blocos, para aí introduzir os Pernes dos aparelhos de suspensão. A localização desses canais para introdução da balança de elevação foi estabelecida em função do centro de gravidade de cada bloco. Junto à base dos blocos as secções rectangulares dos canais verticais passam a ter a forma quadrangular para permitir que os pernes dos aparelhos de suspensão possam aí rodar e, desta forma garantir a fixação e travamento por forma a garantir que a elevação dos Blocos NOREF se possa efectuar em segurança e sem riscos para a sua integridade.

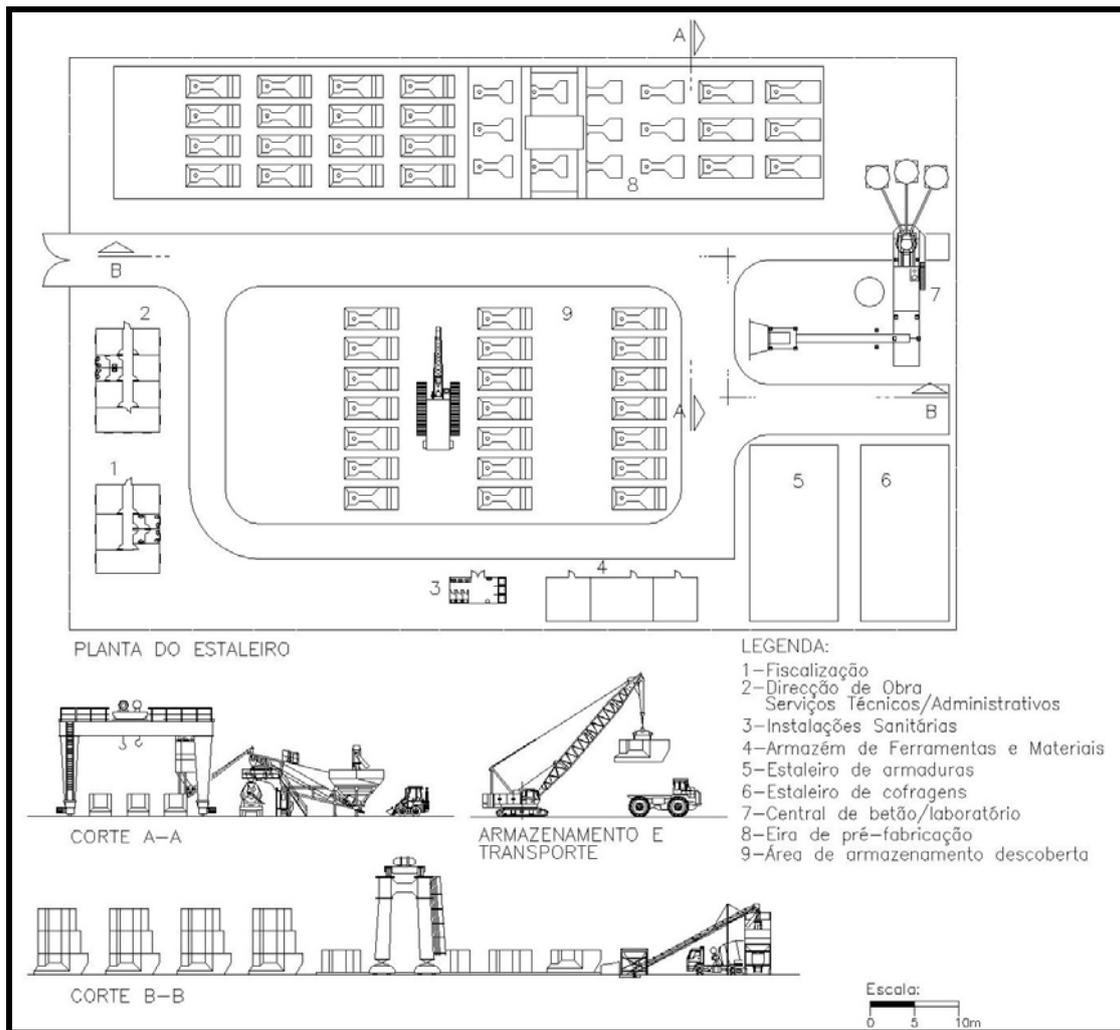


Fig. 15 – Plano do estaleiro

A prefabricação propriamente dita foi realizada com apoio de uma grua automóvel através de um balde de betão, que recebia o produto directamente dos camiões betoneira, que abasteciam a obra, sendo o mesmo betão colocado cuidadosamente dentro das cofragens, para evitar a segregação do mesmo. Uma equipa de pedreiros e vibradoristas procediam às operações de betonagem, vibrando adequadamente a massa, garantindo a homogeneidade do produto e a compacidade do betão. Os acabamentos eram realizados com régua metálica indeformável por forma a assegurar o perfeito desempenho das faces superiores dos Blocos NOREF.

Ainda com o betão fresco, mas já em fase de cura, eram cuidadosamente quebradas as ligações da massa às paredes de cofragem, na face superior dos blocos, para evitar as arestas vivas que, durante as operações de descofragem, teriam tendência a quebrar de forma não completamente controlada.

As cofragens eram previamente tratadas, antes de cada betonagem, através de aplicação de óleo descofrante, após eliminar todos os restos de betão da betonagem anterior, que eventualmente pudessem ter ficado aderentes às faces interiores das cofragens. Cada cofragem foi utilizada em média uma vez por dia o que quer dizer que os blocos eram descofrados mais ou menos ao fim de 20 horas. Para transportar os blocos, com pelo menos 28 dias de cura, foi utilizado o pórtico de 100 ton para os carregar em camiões de plataforma que os levaram aos locais de colocação.

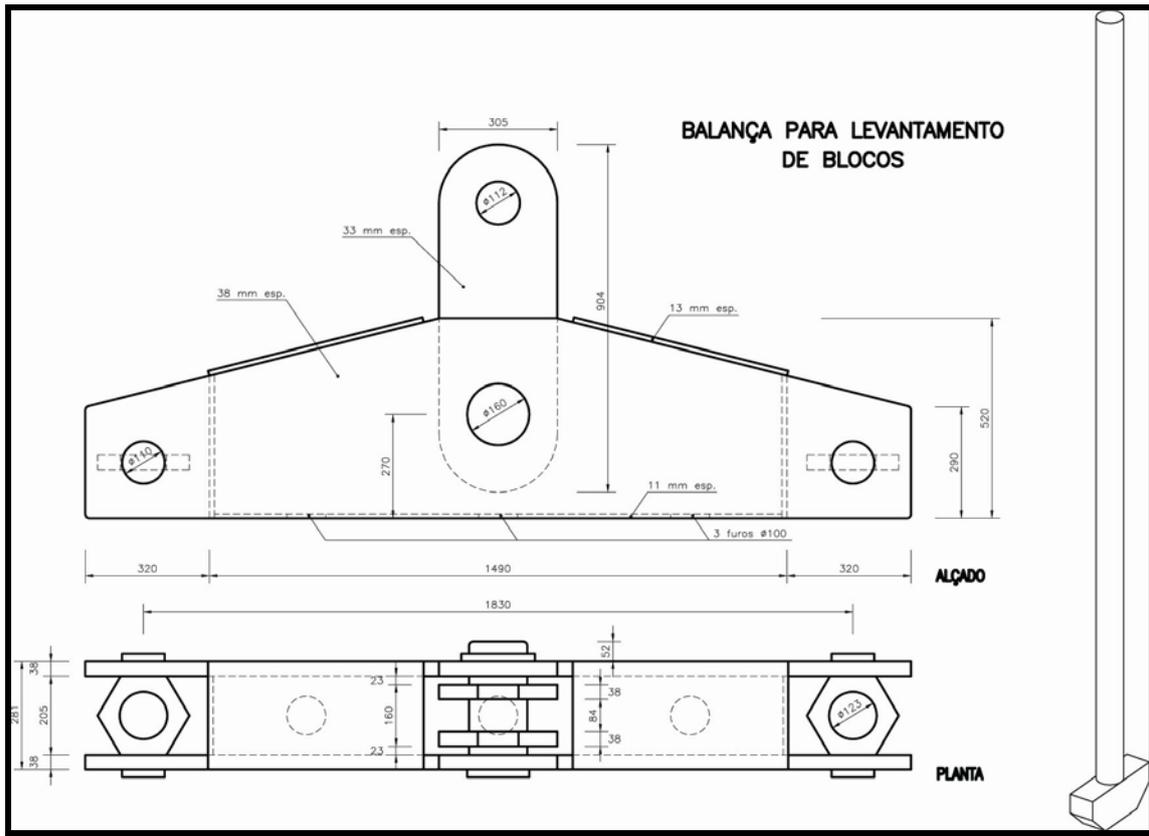


Fig. 16 – Balança para levantamento de blocos

#### 4.4 – Metodologia de execução do cais de Blocos NOREF

Como já foi anteriormente referido a geometria dos Blocos NOREF conduzem à tomada de especiais cuidados, nas condições de manuseamento e colocação das peças prefabricadas, o que obrigou não só à utilização de cofragens e aparelhos de suspensão projectados especificamente para o efeito, mas também foi necessário estudar um sistema que permitisse a colocação dos blocos de forma eficaz e sem recurso a sofisticados meios de controlo do seu posicionamento em obra.

A opção da OFM, em termos de equipamentos de execução da obra, foi claramente a de realizar os trabalhos por via terrestre, sempre tal fosse possível. Assim, após levar a efeito a montagem de estaleiro e a mobilização dos principais equipamentos, deu-se início às operações relativas à prefabricação dos Blocos NOREF. Esta metodologia permitiu ir avançando com escavações e dragagens de construção das fundações do cais.

As várias actividades a realizar no âmbito da construção do cais tiveram a sequência normalmente utilizada na execução deste tipo de obras de gravidade, por forma a que quando foi necessário utilizar os elementos de betão prefabricados, eles já tivessem o tempo de cura suficiente para serem movimentados.

##### 4.4.1 – Sequência construtiva

A execução da obra propriamente dita iniciou-se com a realização das escavações e dragagens, para permitir construir os prismas de fundação do cais, por forma a que pudessem ser colocados os blocos de infra-estrutura do cais. No entanto, atendendo à especificidade da zona de intervenção, sujeita a acções de agitação marítima e das correntes do Rio Douro, houve que ter em atenção a presença destes fenómenos naturais e iniciar os trabalhos caminhando de Norte para Sul.



## 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

Foram igualmente tidos em conta, as reais possibilidades das valas abertas para execução das fundações do cais, puderem ficar a curto prazo assoreadas. Assim, a sequência e o ritmo construtivo foram escolhidos tendo sempre em atenção estes condicionalismos o que nos conduziu a que a tradicional sequência:

**Escavação** → **Dragagem** → **Enr. de fundação** → **Reg. da superfície** → **Colocação dos blocos**

tivesse que ser muito ritmada, com alguns desfasamentos entre as varias actividades, por forma a reduzir ao mínimo os riscos de destruição da obra construída, qualquer que fosse a fase em que a empreitada se encontrasse.

Para garantir que não viesse a haver assoreamento das valas abertas, sempre que a OFM tinha troços de 10 m em condições de serem aprovados, eram imediatamente colocados os enrocamentos de fundação, para ser logo de seguida regularizada a sua plataforma superior, e assim permitir a imediata colocação dos blocos "em escada", como mandam as boas normas da construção.

### 4.4.2 – Processos construtivos

As escavações foram realizadas como habitualmente em obras deste tipo, com apoio de escavadoras giratórias que carregavam os produtos em camião para efectuar o seu transporte a vazadouro. À medida que as escavações atingiam cotas não compatíveis com a utilização das giratórias, então iniciaram-se as operações de dragagem, com recurso à utilização de uma grua de rastos de 270 ton.

A sequência construtiva utilizada e os condicionamentos existentes permitiu que fosse a mesma grua a colocar o enrocamento de fundação, no troço da vala entretanto aberta, onde a seguir uma equipa de mergulhadores procedeu à regularização da superfície, para posterior colocação de Blocos NOREF. A operação subsequente seria então a colocação dos blocos, que é a actividade mais critica de todas elas, já que as exigências em termos de rigor e dificuldade de execução, impõem processos construtivos que embora simples, para não envolver demasiados meios de elevação, que complicariam a sequências de todas as actividades, deverão ser eficientes em termos de garantir a perfeita justaposição e selagem de Blocos NOREF, conforme estabelecido no projecto.

Como já foi referido anteriormente, é imperativo que a sequência de colocação dos blocos se faça "em escada", isto é, serão colocados em avanço os blocos da base 5 ou 6 unidades e só depois se iniciará a colocação dos blocos da 2.<sup>a</sup> fiada e finalmente os da 1.<sup>a</sup> fiada. Haverá sempre um avanço de 1 a 2 blocos entre fiadas horizontais, de forma que à medida que as colunas vão ficando completas (3 blocos por coluna) se possa ir fazendo a solidarização entre os três blocos de cada uma delas, à custa da introdução de um perfil metálico, que será "chumbado" com aplicação de betão "in situ", com recurso à utilização de uma auto bomba estacionada no tardo das colunas dos blocos, antes de se iniciar a execução do prisma de alívio do cais.

Para colocar os blocos em obra utilizamos uma grua de lagartas de 270 ton com capacidade para movimentar as peças à distância exigida, a partir do terreno existente no tardo do cais e que não foi afectado pela abertura da vala de fundação do mesmo (Figs. 17a e 17b).

As operações de colocação dos blocos são sempre acompanhadas por uma equipa de topografia e por uma equipa de mergulhadores que previamente haviam procedido à regularização do prisma de enrocamento de fundação que serve de base de assentamento dos blocos do cais.

Como os blocos NOREF de cada coluna apenas têm a possibilidade de encostar aos das colunas adjacentes através dos banzos do tardo foi preciso projectar estruturas guia que permitissem aos mergulhadores colocar os blocos na sua posição definitiva, com todo o rigor. Essas guias deviam ser facilmente manuseadas pelos mergulhadores, sem contudo perderem a rigidez necessária para garantir que um encosto porventura mais violento de um bloco pudesse provocar torções ou danos de qualquer espécie nas mesmas, o que impediria a normal execução dos trabalhos de acordo com o ritmo previsto no programa de trabalhos.

Ainda assim, como medida cautelar foram construídas 6 guias sendo utilizadas quase permanentemente 5 delas (2 por cada tipo de bloco ou por fiada) havendo sempre uma de reserva.

Como é obvio, as estruturas foram utilizadas para guiar os banzos que constituem a frente acostável.

Enquanto que, as estruturas das cérceas de guiamento servem de batente aos banzos frontais dos Blocos NOREF, entre colunas adjacentes, os banzos do tardo desses blocos são eles próprios os batentes, entre as unidades de cada das colunas situadas imediatamente à esquerda ou à direita dos mesmos.

Para prosseguir com a execução das actividades que faltam para completar o cais houve que ter em consideração o facto de não existir praticamente qualquer travamento entre as diferentes colunas de blocos pelo que a execução do prisma do tardo teve que ser efectuada com cuidados adicionais. Assim, esta actividade só se poderia iniciar nas colunas onde previamente, se havia já chumbado o perfil metálico e garantida a solidarização entre blocos da mesma coluna, não havendo portanto qualquer possibilidade de deslocamento entre juntas horizontais.

A descarga de enrocamento TOT de tardo das colunas de blocos e que constitui o prisma de alívio do cais foi efectuada como habitualmente por basculamento directo dos camiões tendo sido o espalhamento e regularização ao nível do coroamento do prisma, sido executado com recurso a uma escavadora giratória.

A fase subsequente consistiu na colocação de brita sobre o talude de prisma de alívio e posterior revestimento da mesma com tela geotêxtil. Os trabalhos no tardo de cais ficavam concluídos com a colocação e compactação do aterro.

Para finalizar a estrutura acostável foi preciso proceder à betonagem da superestrutura através de bombagem de betão para o interior das cofragens metálicas montadas para o efeito, o qual foi devidamente vibrado por pessoal especializado.

O completamento do perfil de projecto foi realizado com apoio de uma grua automóvel, enquanto a protecção da fundação em enrocamento seleccionado foi colocada com recurso a uma grua de rastos.

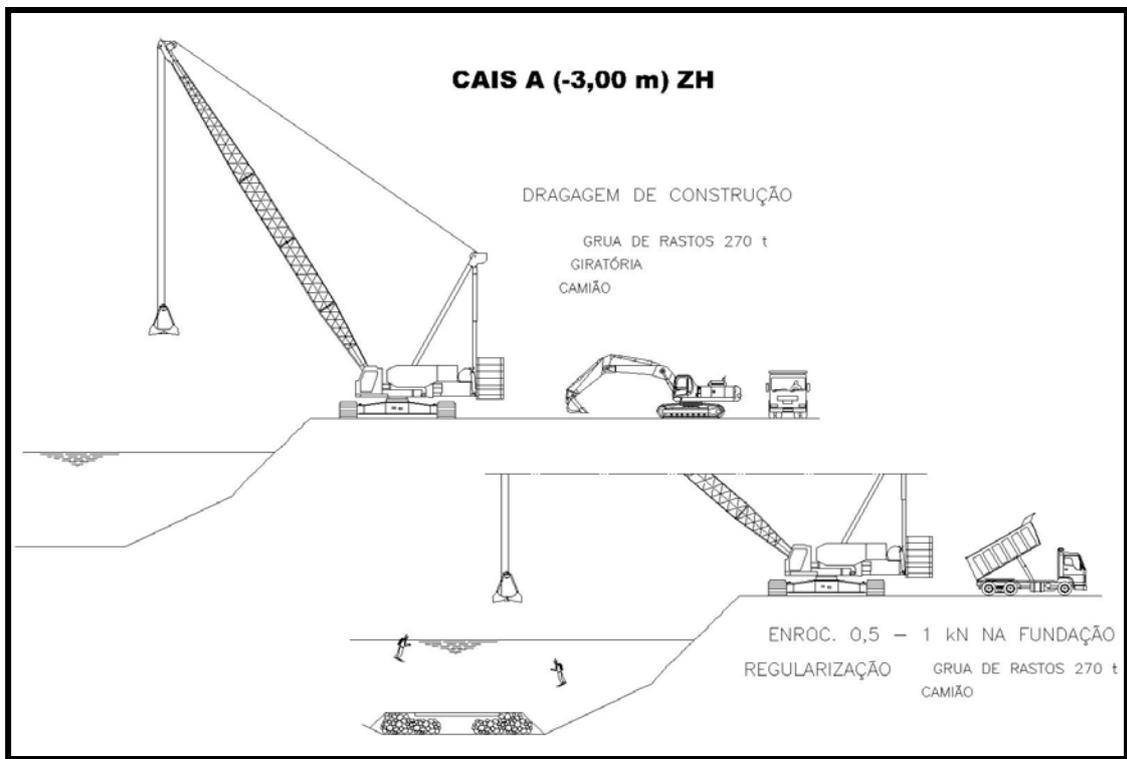


Fig. 17a – Faseamento Construtivo

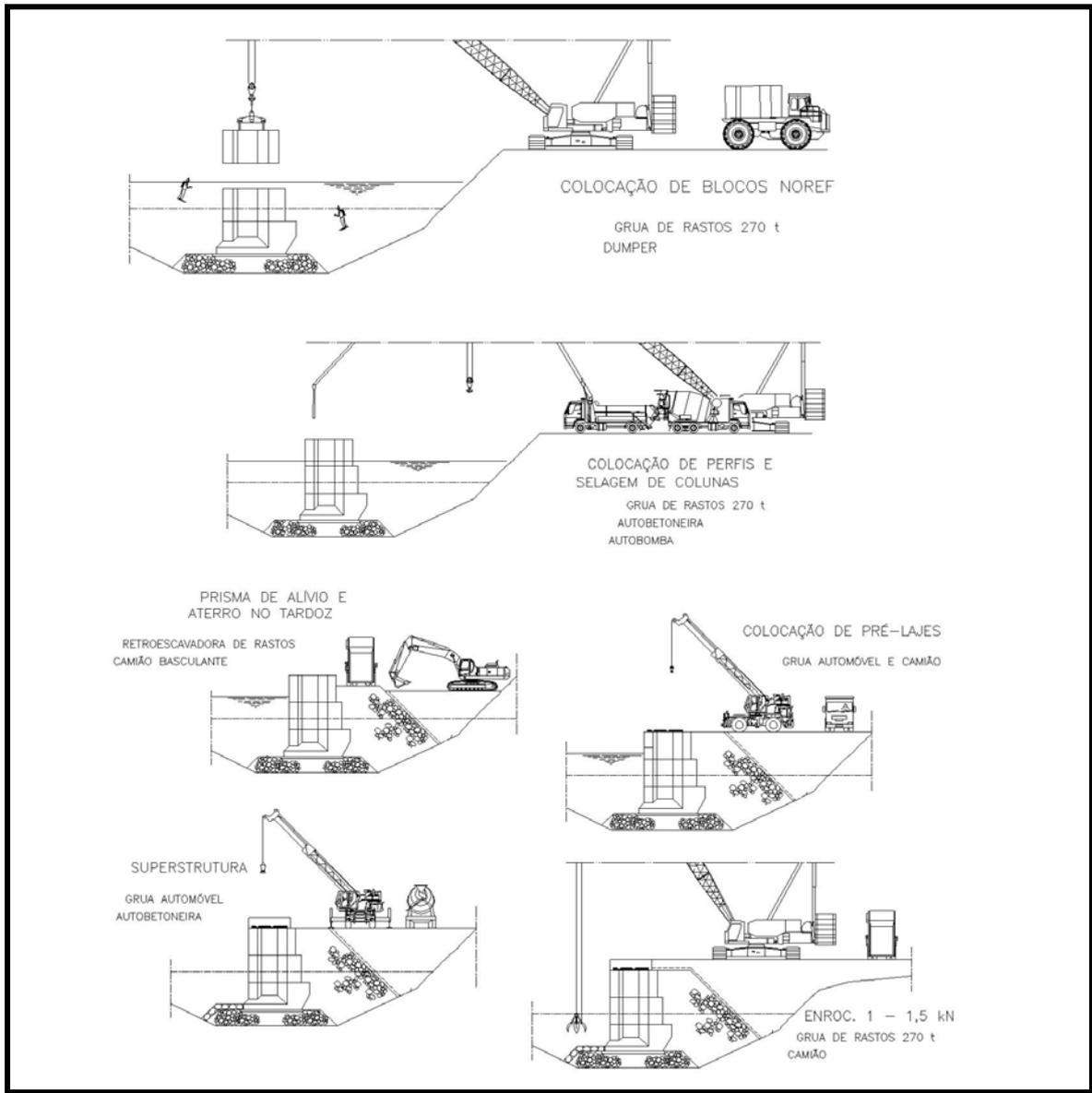


Fig.17b – Faseamento Construtivo

## 5 – CONCLUSÃO

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



## 4<sup>a</sup>s Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

estruturas em Blocos NOREF, de eficiência hidráulica semelhante a outras já existentes, mas onde as maiores desvantagens destas foram eliminadas.

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 parecem ser 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 5<sup>th</sup> 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, 4<sup>th</sup> 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., Kortenhuis, 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.