



INFLUÊNCIA DA OBLIQUIDADE DA AGITAÇÃO E DA DENSIDADE DE COLOCAÇÃO DOS BLOCOS ANTIFER NA ESTABILIDADE DE OBRAS MARÍTIMAS DE TALUDE

Cristina Afonso ^(1, 3), Maria Graça Neves ⁽²⁾, Luís Gabriel Silva ⁽²⁾, Trigo Teixeira ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto Superior Técnico Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa
mcafonso@clix.pt, alex@civil.ist.utl.pt

⁽²⁾ LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente,
Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa
gneves@lnec.pt, lgsilva@lnec.pt

⁽³⁾ WW - Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A., Av. Conselheiro Ferreira Lobo, 23,
Laveiras, 2760-032 Caxias
cafonso@wwsa.pt

RESUMO

Esta comunicação tem como objectivo descrever o estudo da influência da obliquidade da agitação e da densidade de colocação dos blocos na estabilidade de obras marítimas com talude de blocos cúbicos Antifer.

No âmbito deste estudo, foram realizados no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), ensaios em modelo físico tridimensional de um quebra-mar de talude, para analisar o comportamento do manto resistente constituído por blocos cúbicos Antifer. Nos testes em modelo físico variaram-se as características da agitação incidente (obliquidade, altura e período da onda), o modo de colocação dos blocos (irregular e regular) e a sua densidade de colocação.

O principal objectivo deste trabalho é avaliar a influência destes parâmetros no comportamento do manto resistente. A análise dos resultados baseia-se na determinação do número de quedas verificado por observação visual, o qual é validado por registo fotográfico.

1. INTRODUÇÃO

As estruturas marítimas têm por objectivos defender e proteger a faixa costeira da agitação marítima e criar bacias portuárias com condições de tranquilidade. Muitas destas estruturas são obras de talude.

Até ao início da década de 50, os mantos resistentes das obras de protecção marítima eram em geral constituídos por enrocamentos e por blocos paralelepípedicos de betão. Em 1950, surgiram os tetrápodos e a partir dessa data foram aparecendo novos blocos artificiais de betão, cujo princípio de dimensionamento não se baseia exclusivamente no peso próprio, mas considera as condições de ligação entre blocos (Pita, 1986).



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

Em Portugal, nas três últimas décadas, um dos tipos de blocos de betão mais utilizado nos mantos das obras marítimas de talude foi o bloco cúbico Antifer. A razão desta escolha prende-se com o bom comportamento evidenciado pelas estruturas com este tipo de bloco.

O trabalho que se apresenta surgiu da constatação da insuficiente investigação disponível para obras marítimas de talude que utilizam os blocos cúbicos Antifer, no que diz respeito à influência no seu comportamento, dos seguintes aspectos: (i) obliquidade (ângulo entre a direcção de propagação das ondas e a normal ao tronco do quebra-mar), (ii) modo de colocação dos blocos e (iii) densidade de colocação dos blocos.

Foram realizados ensaios em modelo reduzido tridimensional de um quebra-mar de talude, tendo-se analisado o comportamento de duas zonas distintas, a cabeça e o tronco do quebra-mar. Relativamente ao manto resistente utilizaram-se dois modos de colocação dos blocos, irregular e regular, com um e dois valores da densidade de colocação dos blocos, respectivamente.

Os ensaios foram realizados na instalação experimental do Departamento de Hidráulica e Ambiente do LNEC, num tanque com um gerador de ondas irregulares.

As condições dos ensaios foram as seguintes: (i) um nível de maré, (ii) duas direcções da agitação, (iii) três períodos de onda e (iv) várias alturas de onda (crescentes) sem reconstrução do modelo. Conjugando estas condições de ensaio, foram realizados 107 testes, incluindo algumas repetições.

Em cada ensaio, foi quantificado o nível de estragos atingido no manto resistente, tendo-se verificado a situação de rotura do modelo em alguns deles.

A análise dos resultados dos ensaios foi centrada, nas duas zonas do quebra-mar, no modo e na densidade de colocação dos blocos e na obliquidade da agitação incidente.

As características da instalação experimental e do modelo e as condições da agitação são apresentadas no ponto 2. No ponto 3 descrevem-se os resultados obtidos relativamente às percentagens de quedas, no tronco e na cabeça, comparando os modos e as densidades de colocação dos blocos e as obliquidades da agitação. E por último, no ponto 4, apresentam-se as conclusões parciais do estudo.

Este trabalho destina-se à obtenção do grau de Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos pelo Instituto Superior Técnico (IST) e para a sua realização utilizou-se a instalação experimental do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) ao abrigo do acordo de cooperação entre o IST e o LNEC.

2. DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS

2.1 Instalação Experimental

Os ensaios foram realizados num tanque com um comprimento de 20 metros e uma largura variável entre 12 e 14 metros (Figura 1).

O tanque está equipado com um gerador de ondas irregulares, móvel, com um comprimento de 6 metros e uma altura de 0,65 metros.

Na zona de implantação do modelo existe uma ponte móvel, a qual permitiu visualizar “in situ” o comportamento do modelo durante o ensaio, sem interferência do observador na agitação incidente.

Para minimizar a reflexão das ondas, as paredes do tanque estão revestidas com um prisma de enrocamento.



Figura 1 – Instalação de ensaio

Antes do início dos ensaios, foi feita a calibração da agitação através de quatro sondas, uma colocada junto ao gerador e as restantes três sondas junto da obra. As sondas mantiveram-se durante os ensaios para confirmação dos valores das alturas e dos períodos da agitação gerada.

2.2 Características do modelo

O modelo do quebra-mar de talude ensaiado é constituído por duas zonas, o tronco com uma geometria prismática e a cabeça com uma geometria tronco-cónica. Os fundos junto ao modelo são representados por uma rampa com inclinação constante e igual a 5%, numa extensão de 2,0 metros. A altura da água foi constante durante os ensaios e igual a 0,4 metros, a que corresponde, junto do “pé” do talude a uma altura de água de 0,3 metros.

O modelo tem um comprimento de 2,6 metros, uma largura de 1,6 metros e uma altura de 0,55 metros.

O manto do quebra-mar é constituído por duas camadas de blocos cúbicos Antifer, com uma inclinação do talude a 3(H):2(V) e uma camada de filtro de enrocamento com pesos compreendidos entre 2 e 6 g. O núcleo do quebra-mar é constituído por enrocamento de todo-o-tamanho (TOT).

Os mantos do tronco e da cabeça do quebra-mar são constituídos por blocos cúbicos Antifer de 70 e 85 g, respectivamente. O peso específico do material que constitui os blocos é de 24 kN/m^3 .

Nas Figuras 2 a 4, apresentam-se a planta e os perfis da estrutura ensaiada.

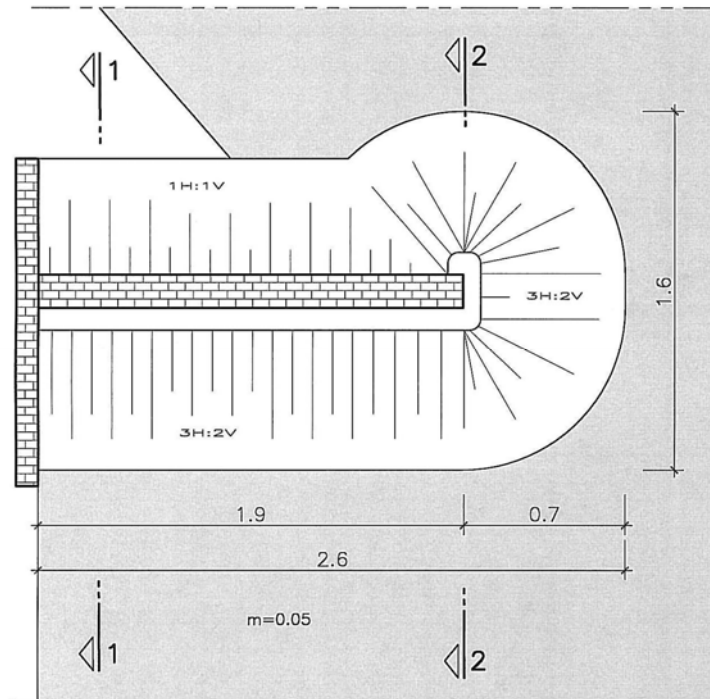


Figura 2 – Modelo. Planta

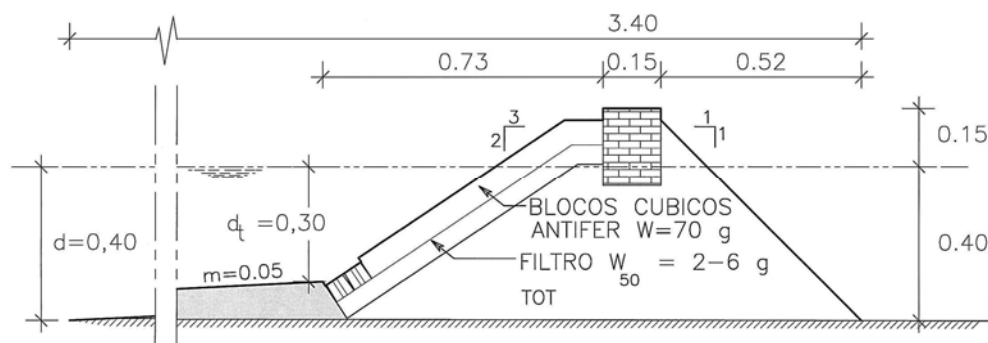


Figura 3 – Modelo. Perfil 1-1

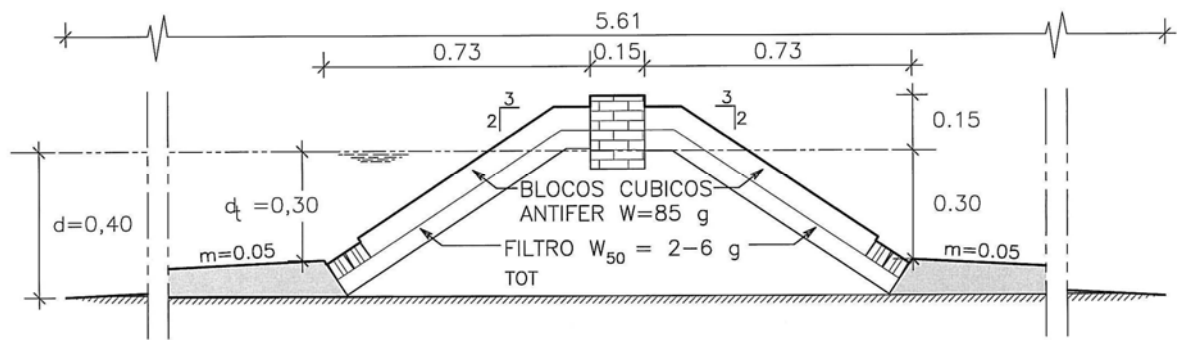


Figura 4 – Modelo. Perfil 2-2

O número máximo de blocos utilizados foi de 1200 blocos de 70 g e 1500 blocos de 85 g, no tronco e na cabeça do modelo, respectivamente. No “pé” do talude foram colocadas duas fiadas de blocos com 225 g, a fim de evitar a instabilidade do manto por problemas de fundação e por não ser esse o objectivo do estudo (Figura 5).



Figura 5 – Modelo

No troço do modelo junto ao murete e no tardoz do manto, foram colocados enrocamentos e blocos apenas para reproduzir a geometria do quebra-mar e por não serem as zonas de interesse do estudo.

A utilização de blocos no modelo com pesos diferentes no tronco e na cabeça é semelhante ao que frequentemente se passa no protótipo, uma vez que a cabeça do quebra-mar é,



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

geralmente, uma zona mais instável e conseqüentemente dispõe de blocos mais pesados. Por outro lado, o facto do peso dos blocos na cabeça do molhe ser superior ao peso dos blocos no tronco permitiu que na maioria dos ensaios se observassem níveis de danos equivalentes nas duas zonas para as mesmas condições de agitação.

Os blocos cúbicos Antifer foram colocados de dois modos distintos: irregular e regular, em duas camadas (Figuras 6 e 7).

No modo de colocação regular consideraram-se duas densidades de colocação diferentes, uma densidade é igual à densidade de colocação do modo irregular (CD) e a outra densidade é superior, adiante designadas por colocação (CA - densa) e (CA + densa), respectivamente.



Figura 6 - Colocação irregular dos blocos cúbicos Antifer. Blocos na 1ª camada (foto esquerda), blocos na 2ª camada (foto direita) e padrão de colocação dos blocos (foto superior direita)



Figura 7 - Colocação regular dos blocos cúbicos Antifer. Blocos na 1ª camada (foto esquerda), blocos na 2ª camada (foto direita) e padrão de colocação dos blocos (foto superior direita)



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

Nos Quadros 1 e 2, apresentam-se os valores dos parâmetros no modelo e as características do modo de colocação dos blocos. Para uma percepção mais realista do que se passa no protótipo, apresentam-se igualmente no Quadro 1 os valores dos parâmetros de um protótipo, considerando que o modelo se encontra construído à escala 1:50.

Quadro 1 – Parâmetros no modelo e no protótipo

Parâmetros		Modelo	Protótipo (Escala 1:50)
d		0,4 m	20,0 m
d _t		0,3 m	15,0 m
W	Tronco	70 g	85,8 kN
	Cabeça	85 g	104,2 kN

Quadro 2 – Características do modo de colocação dos blocos no modelo

Modo de Colocação	Tronco		Cabeça	
	Densidade de colocação (blocos/m ²)	Porosidade (%)	Densidade de colocação (blocos/m ²)	Porosidade (%)
Desarrumada (CD)	1189,8	47,0	1084,8	45,0
Arrumada	CA - densa	1189,8	1084,8	42,3
	CA + densa	1415,3	1277,3	32,0

2.3 Condições dos Ensaios

As condições dos ensaios escolhidas tiveram em conta situações características existentes na costa portuguesa, nomeadamente no que diz respeito aos períodos e às alturas de onda, considerando que o modelo se encontra construído à escala 1:50.

O modelo foi ensaiado para as seguintes condições:

- um nível de maré: d=0,4 m;
- várias alturas de onda crescentes sem reconstrução do modelo: 0,06 m < H_s < 0,14 m;
- três períodos de onda: T_p = 1,2, 1,7 e 2,2 s;
- duas obliquidades: 0° e 50°.

No Quadro 3, apresentam-se as características das condições dos ensaios, quer em valores do modelo, quer em valores de protótipo.

Na fase de calibração do gerador, foram reproduzidos diversos valores de altura de onda, de forma a permitir que o traçado das curvas de calibração fosse baseado num número grande de pontos.

A agitação incidente foi definida pela configuração espectral JONSWAP ($\gamma = 3.3$) e a duração do ensaio em cada teste foi de 20, 30 e 40 minutos, para os períodos de 1,2, 1,7 e 2,2 segundos, respectivamente.



Quadro 3 – Características das condições de agitação testadas

Obliquidade ^[1]	Modelo		Protótipo (Escala 1:50)		
	Tp [s]	Hs [m]	Tp [s]	Hs [m]	
0° e 50°	1,2	0,08	8,5	4,2	
		0,10		5,1	
		0,12		6,1	
		0,13		6,5	
		0,14		6,9	
	1,7	0,06	12,0	3,2	
		0,08		4,0	
		0,10		4,9	
		0,12		6,0	
		0,13		6,5	
	2,2	0,14	15,6	6,9	
		0,07		3,3	
		0,08		4,2	
			0,10		5,0

^[1] Ângulo entre a direcção de propagação das ondas à saída do gerador e a normal ao tronco do quebra-mar

3. RESULTADOS

Como se referiu, o principal objectivo deste trabalho é avaliar a influência da obliquidade da agitação marítima, e da densidade e do modo de colocação dos blocos cúbicos Antifer no comportamento do manto resistente. Esta avaliação é baseada na observação visual “in situ” do modelo, corroborada por registo fotográfico.

Durante os ensaios foi efectuada a contabilização do número de quedas no final de cada teste correspondente a uma altura de onda. Após cada teste, foram tiradas fotografias que permitiram confirmar o número de quedas contabilizadas visualmente.

Considera-se como queda de um bloco a saída desse bloco do lugar original do manto, com um deslocamento igual ou superior ao diâmetro nominal (D_n).

É feita uma análise comparativa da estabilidade dos blocos para as situações seguintes:

- dois modos e duas densidades de colocação dos blocos, para cada zona do modelo e para cada obliquidade da agitação;
- duas obliquidades da agitação, considerando o mesmo modo e a mesma densidade de colocação dos blocos, na mesma zona do modelo.

Nos Quadros 4 a 7 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios, relativamente ao número e à percentagem de quedas dos blocos observados nas duas zonas do modelo, variando o modo e densidade de colocação dos blocos e a direcção da agitação.

Nos quadros seguintes $H_s/\Delta D_n$, representa o parâmetro de estabilidade, em que Δ é a densidade relativa do bloco submerso (CEM, 2006).



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

Quadro 4 – Número e percentagem de quedas dos blocos cúbicos Antifer no Tronco.
Obliquidade 0°

Modo de colocação		CD		CA - Densa		CA + Densa	
Número total de blocos na área observada (unidades)		814		814		968	
Densidade de colocação (blocos/m ²)		1190,1		1190,1		1415,2	
Tp(s)	Hs/ΔD _n	Total	%	Total	%	Total	%
1,2	1,92	30	3,7	0	0	0	0
	2,28	39	4,8	0	0	0	0
	2,75	49	6,0	5	0,6	0	0
	2,95	66	8,1	9	1,1	0	0
	3,17	69	8,5	21	2,6	0	0
1,7	1,42	1	0,1	0	0	0	0
	1,81	7	0,9	0	0	0	0
	2,21	19	2,3	0	0	0	0
	2,66	43	5,3	4	0,5	0	0
	2,89	59	7,2	5	0,6	0	0
	3,03	71	8,7	10	1,2	0	0
2,2	1,50	11	1,4	0	0	0	0
	1,90	13	1,6	0	0	0	0
	2,28	28	3,4	0	0	0	0

Quadro 5 – Número e percentagem de quedas dos blocos cúbicos Antifer na Cabeça.
Obliquidade 0°

Modo de colocação		CD		CA - Densa		CA + Densa	
Número total de blocos na área observada (unidades)		1100		1100		1471	
Densidade de colocação (blocos/m ²)		1084,5		1084,5		1277,8	
Tp(s)	Hs/ΔD _n	Total	%	Total	%	Total	%
1,2	1,80	9	0,8	7	0,6	0	0
	2,13	18	1,6	18	1,6	3	0,2
	2,58	26	2,4	30	2,7	8	0,5
	2,77	35	3,2	43	3,9	8	0,5
	2,97	38	3,5	59	5,4	9	0,6
1,7	1,33	2	0,2	2	0,2	0	0
	1,70	17	1,5	16	1,5	1	0,1
	2,07	35	3,2	35	3,2	1	0,1
	2,50	67	6,1	68	6,2	1	0,1
	2,71	79	7,2	84	7,6	1	0,1
	2,84	95	8,6	114	10,4	4	0,3
2,2	1,41	12	1,1	6	0,5	0	0
	1,78	30	2,7	15	1,4	0	0
	2,14	38	3,5	24	2,2	0	0



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

Quadro 6 – Número e percentagem de quedas dos blocos cúbicos Antifer no Tronco.
Obliquidade 50°

Modo de colocação		CD		CA - Densa		CA + Densa	
Número total de blocos na área observada (unidades)		814		814		968	
Densidade de colocação (blocos/m ²)		1190,1		1190,1		1415,2	
Tp(s)	Hs/ΔD _n	Total	%	Total	%	Total	%
1,2	1,92	23	2,8	10	1,2	0	0
	2,28	26	3,2	16	2,0	0	0
	2,75	34	4,2	30	3,7	0	0
	2,95	37	4,5	40	4,9	3	0,3
	3,17	42	5,2	46	5,7	8	0,8
1,7	1,42	4	0,5	0	0	0	0
	1,81	13	1,6	5	0,6	0	0
	2,21	28	3,4	14	1,7	2	0,2
	2,66	62	7,6	78	9,6	12	1,2
	2,89	100	12,3	84	10,3	14	1,4
	3,03	109	13,4	87	10,7	20	2,1
2,2	1,50	7	0,9	0	0	0	0
	1,90	13	1,6	3	0,4	0	0
	2,28	19	2,3	24	2,9	3	0,3

Quadro 7 – Número e percentagem de quedas dos blocos cúbicos Antifer na Cabeça.
Obliquidade 50°

Modo de colocação		CD		CA - Densa		CA + Densa	
Número total de blocos na área observada (unidades)		1100		1100		1471	
Densidade de colocação (blocos/m ²)		1084,5		1084,5		1277,8	
Tp(s)	Hs/ΔD _n	Total	%	Total	%	Total	%
1,2	1,80	24	2,2	1	0,1	2	0,1
	2,13	32	2,9	5	0,5	2	0,1
	2,58	41	3,7	25	2,3	4	0,3
	2,77	62	5,6	42	3,8	5	0,3
	2,97	63	5,7	66	6,0	5	0,3
1,7	1,33	7	0,6	3	0,3	0	0
	1,70	16	1,5	31	2,8	0	0
	2,07	35	3,2	46	4,2	0	0
	2,50	77	7,0	109	9,9	0	0
	2,71	114	10,4	136	12,4	0	0
	2,84	164	14,9	190	17,3	5	0,3
2,2	1,41	6	0,5	4	0,4	1	0,1
	1,78	23	2,1	19	1,7	1	0,1
	2,14	46	4,2	34	3,1	2	0,1

A observação dos quadros anteriores permite concluir que a percentagem de quedas no *Tronco*, para as obliquidades 0° e 50°, tem valores máximos de 8,7% e 13,4%, respectivamente. Estes valores verificam-se para o modo de colocação desarrumado e para o período intermédio, $T_p=1,7$ segundos.

Na *Cabeça*, os valores máximos da percentagem de quedas são de 10,4% e 17,3%, para as obliquidades 0° e 50°, respectivamente. Estes valores verificam-se para o modo de colocação arrumada menos densa e para o período, $T_p=1,7$ segundos.

Convém referir que, no decurso dos ensaios, se constatou ser difícil cumprir o padrão de colocação de blocos previamente estabelecido para o modo de colocação desarrumado, razão pela qual se pode admitir uma maior variabilidade nos resultados obtidos.

A mesma informação é apresentada nas Figuras 8 e 9 onde se pode observar a variação da percentagem de quedas em função do parâmetro $H_s/\Delta D_n$, considerando o modo e a densidade de colocação dos blocos. Nas Figuras 10 e 11 apresenta-se igualmente a variação da percentagem de quedas com o parâmetro $H_s/\Delta D_n$, considerando a obliquidade da agitação.

Nas figuras seguintes N_z , representa o número mínimo de ondas durante os testes e α é o ângulo do talude com a horizontal.

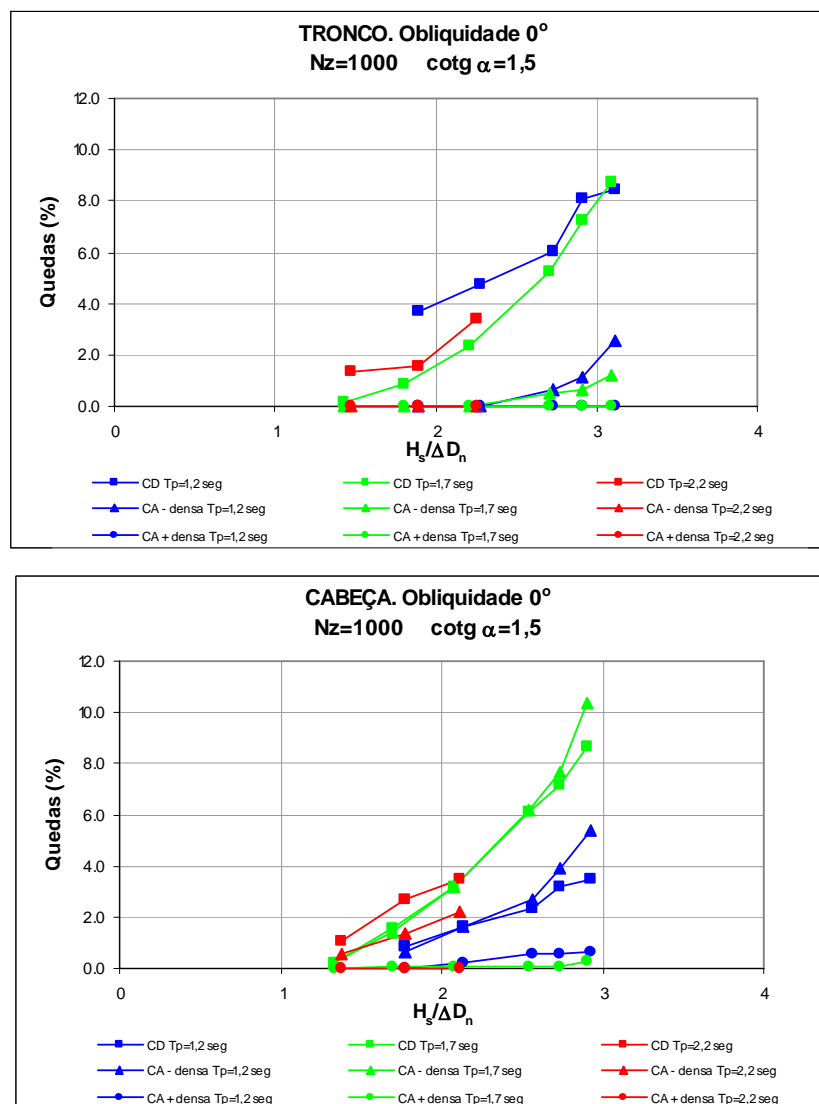


Figura 8 – Variação da % de quedas dos blocos cúbicos Antifer com $H_s/\Delta D_n$, considerando o modo e a densidade de colocação dos blocos, para a obliquidade 0°

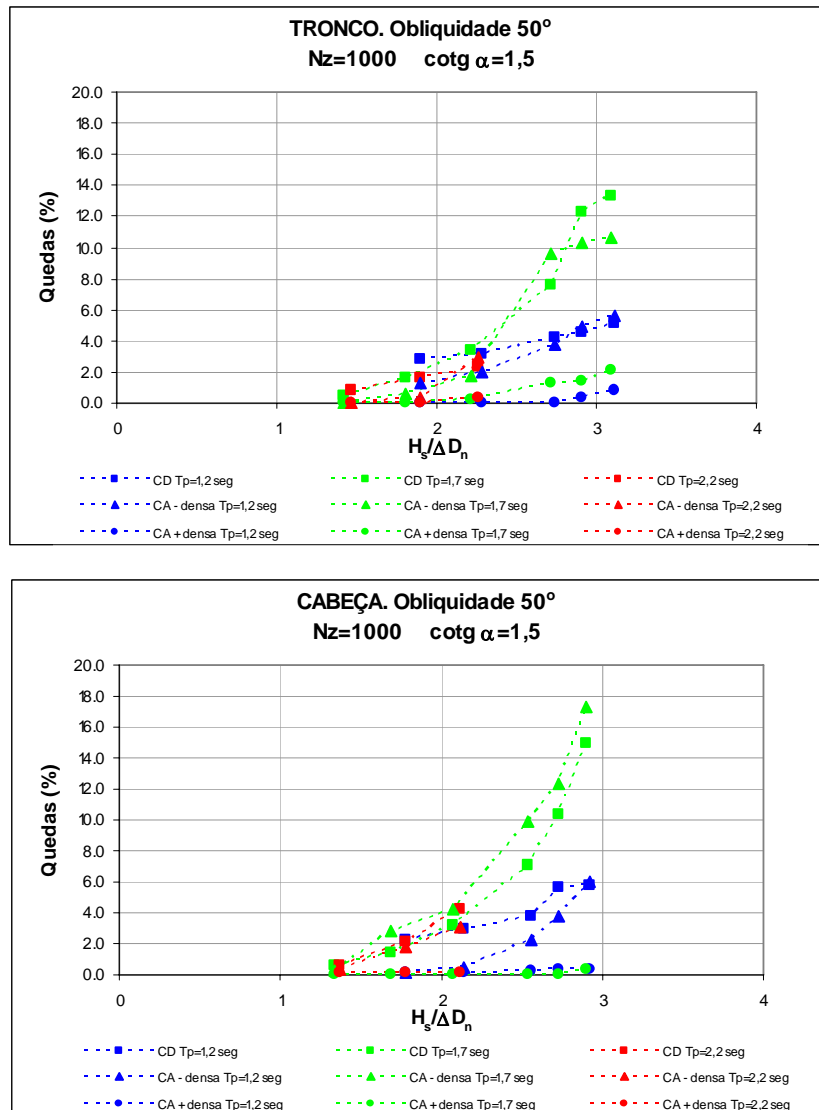


Figura 9 – Variação da % de quedas dos blocos cúbicos Antifer com $H_s/\Delta D_n$, considerando o modo e a densidade de colocação dos blocos, para a obliquidade 50°

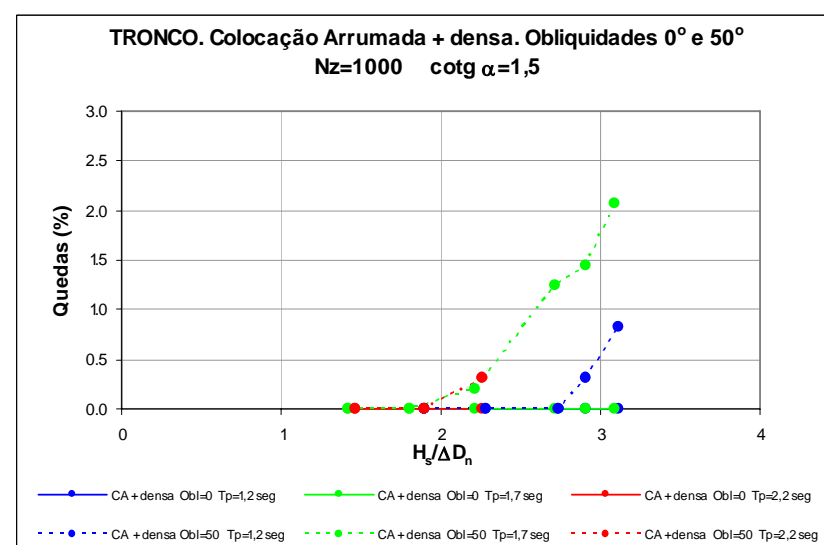
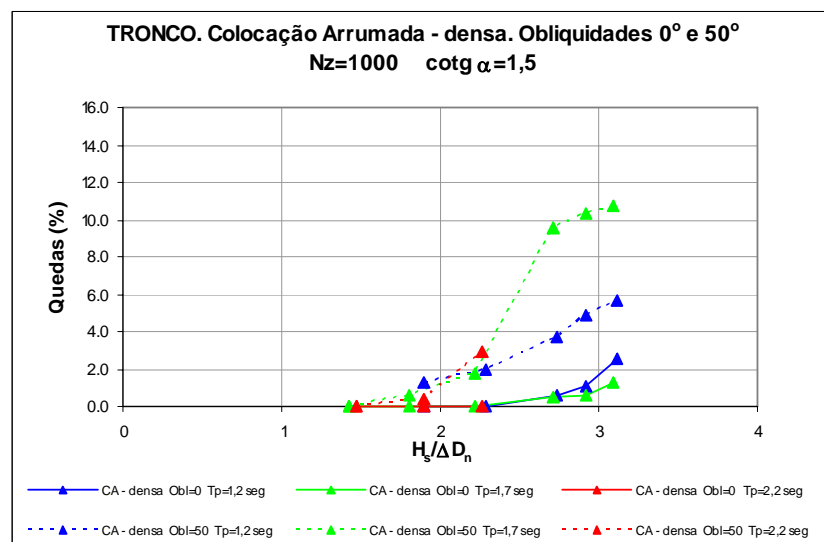
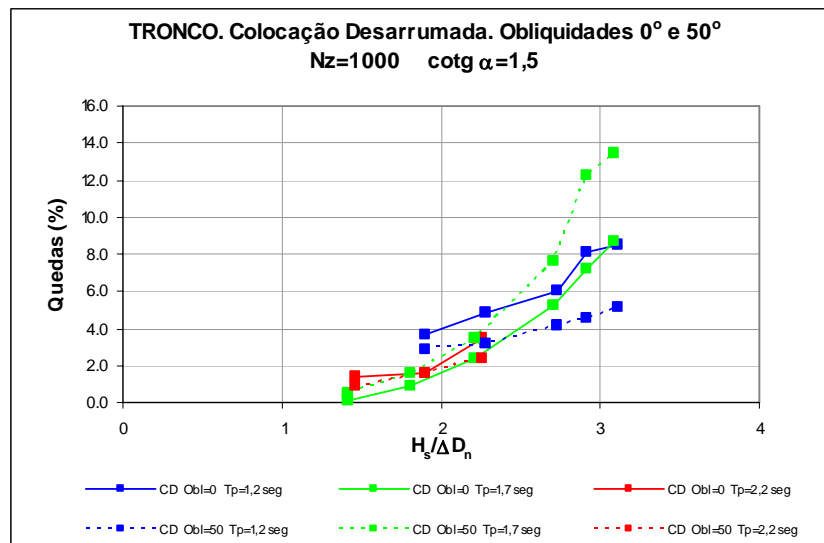


Figura 10 – Variação da % de quedas dos blocos cúbicos Antifer com $H_s/\Delta D_n$, no Tronco, considerando a obliquidade da agitação

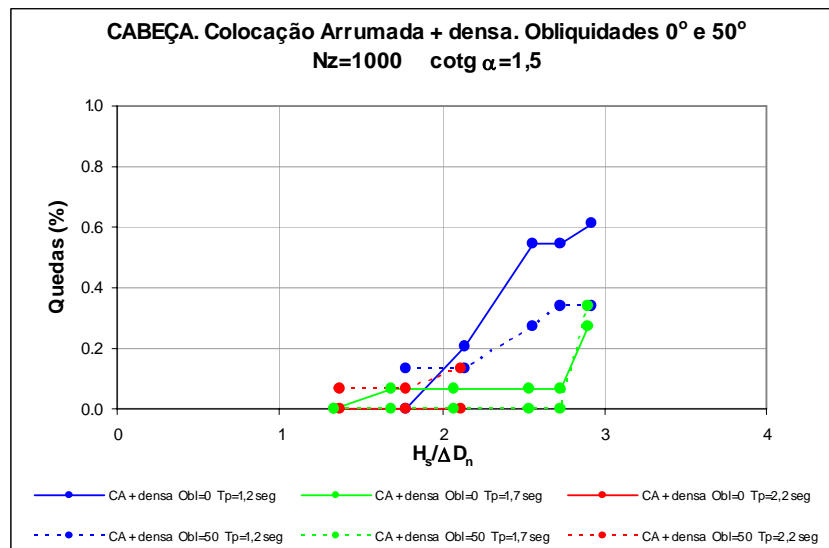
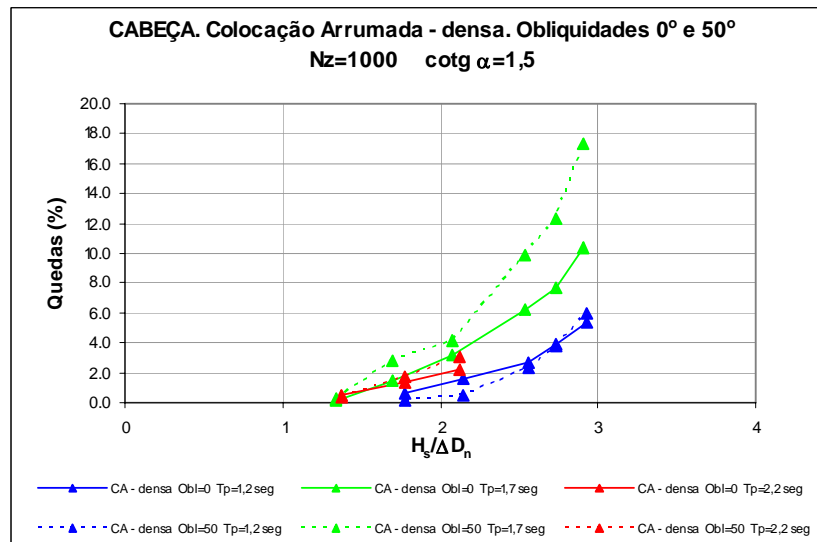
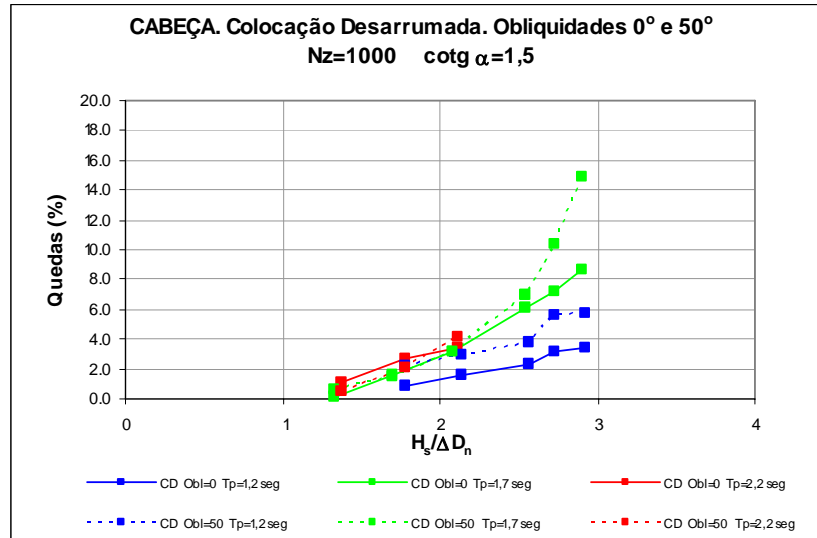


Figura 11 – Variação da % de quedas dos blocos cúbicos Antifer com $H_s/\Delta D_n$, na Cabeça, considerando a obliquidade da agitação

Os ensaios efectuados mostram que, do ponto de vista da estabilidade, as tendências das diferenças de comportamento evidenciadas no modelo com manto resistente constituído por blocos cúbicos Antifer são as seguintes (Figuras 12 e 13):

- *Influência da densidade e do modo de colocação dos blocos*
 - de um modo geral, para a obliquidade 0° e para o *Tronco*, os blocos colocados regularmente são mais estáveis que os colocados irregularmente, para as mesmas condições de agitação e para a mesma densidade de colocação;
 - na *Cabeça*, para as duas obliquidades e no *Tronco*, para a obliquidade 50°, a estabilidade dos blocos é semelhante nos ensaios com os modos de colocação irregular e regular menos densa;
 - em todos os ensaios, verifica-se que os blocos são significativamente mais estáveis no modo de colocação regular mais denso, do que nos outros dois modos.
- *Influência da obliquidade da agitação*
 - no *Tronco* a estabilidade dos blocos do manto, para os dois modos de colocação com igual densidade é inferior na obliquidade 50°, excepto para o ensaio com os blocos colocados irregularmente e com $T_p=1,2$ segundos;
 - na *Cabeça* e para os dois modos de colocação com igual densidade, a estabilidade do manto é significativamente inferior na obliquidade 50° e para o período intermédio $T_p=1,7$ segundos. Para os períodos $T_p= 1,2$ e $2,2$ segundos a estabilidade é idêntica;
 - para o modo de colocação mais denso, no *Tronco* e na *Cabeça* a estabilidade do manto é muito semelhante para as duas obliquidades ensaiadas.

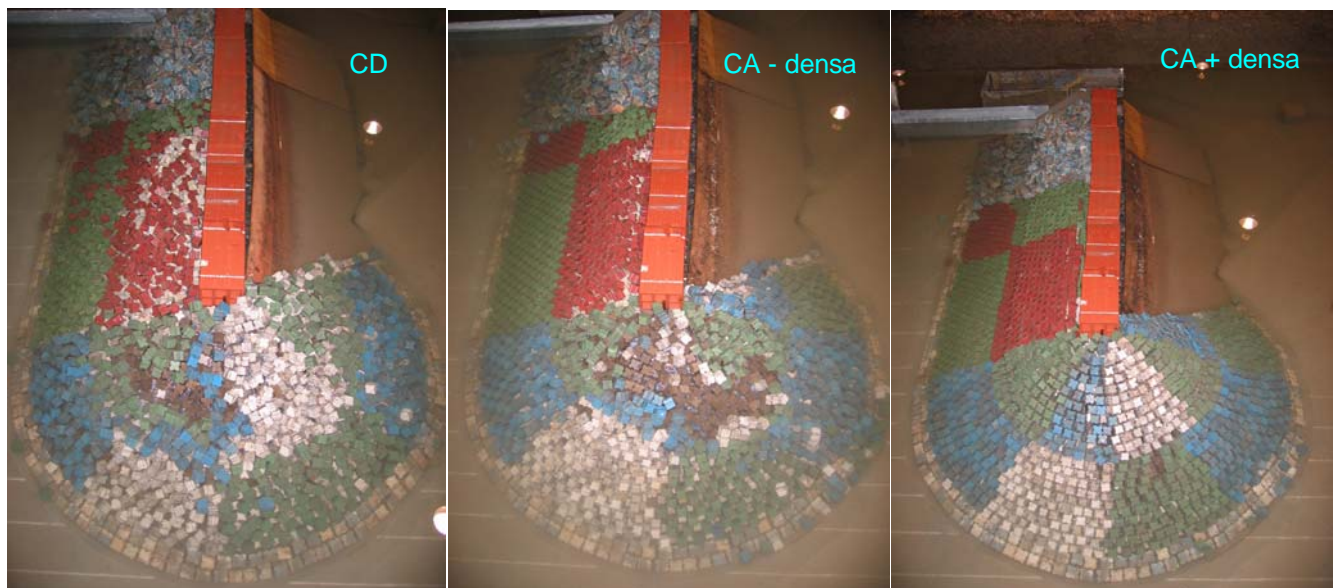


Figura 12 – Fim do ensaio, obliquidade 0° e $T_p=1,7$ segundos

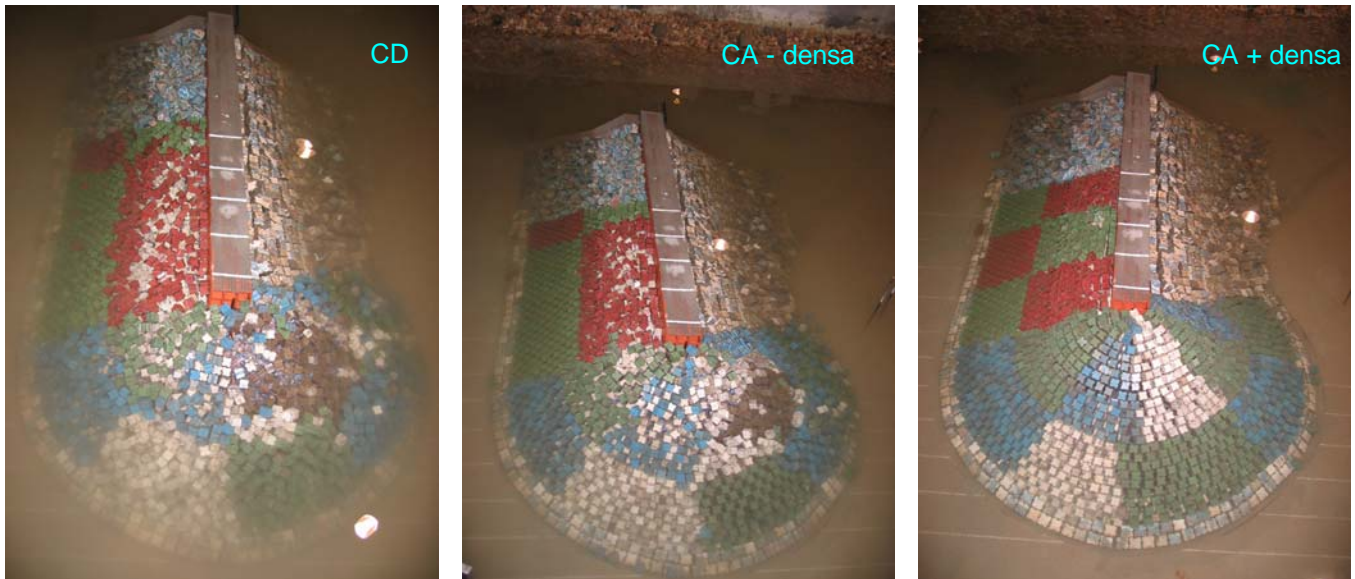


Figura 13 – Fim do ensaio, obliquidade 50° e $T_p=1,7$ segundos

4. CONCLUSÕES

Com o objectivo de contribuir para o conhecimento da influência da obliquidade da agitação, do modo de colocação e da densidade de colocação dos blocos cúbicos Antifer na estabilidade de obras marítimas de talude, apresentam-se os resultados dos ensaios realizados em modelo físico tridimensional de um quebra-mar de talude, com uma inclinação a 3(H):2(V), constituído por um manto resistente de blocos cúbicos Antifer.

Os ensaios realizados incidiram sobre o comportamento de duas zonas distintas do quebra-mar, a *Cabeça* e o *Tronco*. No manto resistente utilizaram-se dois modos de colocação dos blocos, irregular e regular, e uma densidade de colocação para o modo irregular e duas densidades para o modo regular (uma densidade é igual à densidade de colocação do modo irregular). Foram realizados 107 testes, conjugando as condições de ensaio seguintes: diversas alturas de onda ($0,06 \text{ m} < H_s < 0,14 \text{ m}$), três períodos ($T_p=1,2, 1,7$ e $2,2 \text{ s}$) e duas obliquidades (0° e 50°). Em cada caso foi quantificado o nível de estragos no manto resistente.

De forma resumida pode constatar-se que:

- Da análise dos resultados obtidos, conclui-se que no *Tronco* e para a obliquidade 0° , o modo de colocação dos blocos tem maior influência na estabilidade do manto. No *Tronco* e para a obliquidade 50° , a maior influência na estabilidade é a densidade de colocação dos blocos. Na *Cabeça* verifica-se que, para as duas obliquidades ensaiadas, a estabilidade dos blocos depende essencialmente da densidade de colocação dos mesmos;
- Quanto à influência da obliquidade da agitação, verifica-se que, na maioria dos ensaios, a estabilidade dos blocos é superior para a obliquidade 0° , tanto no *Tronco* como na *Cabeça*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carlos Pita, 1986, “Dimensionamento Hidráulico do Manto Resistente de Quebra-mares de Talude”, Memória nº 670, LNEC, Lisboa.

CEM, 2006, “Coastal Engineering Manual. Chapter 5 – Fundamentals of Design, Part VI”.