



## AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE CÁLCULO DO COEFICIENTE DE REFLEXÃO DeCRAF – Programa para Determinação de Coeficientes de Reflexão com Apoio em Formulações.

Sofia Costa Freire<sup>(1,2)</sup>, Maria da Graça Neves<sup>(3)</sup>, António Pires Silva<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. <sup>(2)</sup> HIDROPROJECTO, Engenharia e Gestão, S.A.

<sup>(3)</sup> Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

### RESUMO

O fenómeno da reflexão tem recebido especial atenção devido à natureza dos problemas associados. Estes ocorrem à escala da bacia portuária e implicam essencialmente, redução da tranquilidade na entrada e no interior destes espaços e o aumento do transporte de sedimentos.

Como a reflexão é geralmente acompanhada de rebentação, a sua descrição baseada em modelos apenas teóricos acarreta elevado grau de incerteza. Assim, o fenómeno é representado por um coeficiente,  $C_r$ , calculado através de formulações empíricas e semi-empíricas.

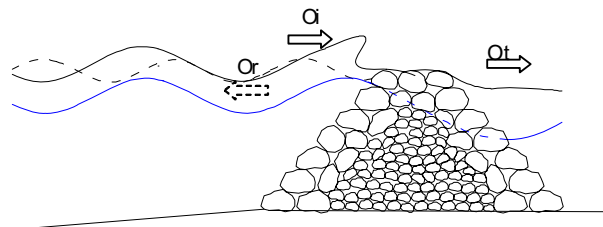
No presente trabalho procedeu-se a uma compilação e apreciação das formulações empíricas e semi-empíricas existentes para avaliação do coeficiente de reflexão, para vários tipos de estruturas marítimas representativas na costa portuguesa.

Esta síntese serviu de base ao desenvolvimento de um programa, DeCRAF, que visa uma aplicação operacional das várias formulações apresentadas. Este programa será importante no apoio à utilização de modelos numéricos de propagação da agitação, que constituem hoje uma ferramenta fundamental para a previsão dos fenómenos físicos relevantes na zona costeira.

### 1 INTRODUÇÃO

A agitação marítima é o resultado da interacção entre o escoamento turbulento do ar e a superfície do mar. As ondas geradas ao propagarem-se para fora da zona de geração sofrem um conjunto de alterações. Em águas profundas, estas são, essencialmente, devidas a interacções não-lineares, que reconfiguram a forma do espectro, e à rebentação parcial. Na aproximação à costa passam a ser importantes e determinantes a interacção onda-corrente, a refacção induzida pelo fundo, a deformação devida à diminuição da profundidade (shoaling), a difracção e a rebentação induzida pelo fundo.

Na interacção da onda com as estruturas existentes ao longo da linha de costa podem ocorrer vários fenómenos como o galgamento, a transmissão e a reflexão, tal como exemplificado na Figura 1.



Oi – Onda incidente; Ot – Onda transmitida; Or – Onda reflectida

**FIGURA 1** – Representação esquemática de fenómenos resultantes da interacção onda-estrutura (galgamento, transmissão e reflexão)



## 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

Este artigo foca-se essencialmente no fenómeno da reflexão e da sua variação com as características da estrutura e das características da agitação incidente. Em princípio a descrição do fenómeno da reflexão resultante da interacção onda-estrutura inclui a resolução da equação do balanço da energia, incluindo os processos de reflexão da onda, de dissipação (devida há rebentação, turbulência e atrito) e transmissão (através e sobre a estrutura).

No entanto, há um elevado grau de incerteza por o fenómeno da reflexão estar quase sempre associado a uma rebentação devida à estrutura. Assim, este fenómeno é quantificado por um coeficiente,  $C_r$ , calculado através de formulações empíricas e semi-empíricas, apoiadas em ensaios laboratoriais.

O coeficiente de reflexão,  $C_r$ , define-se em função das alturas da onda reflectida ( $H_r$ ) e incidente ( $H_i$ ), ou em função das energias totais da onda reflectida ( $E_r$ ) e incidente ( $E_i$ ):

$$C_r = \left| \frac{H_r}{H_i} \right| = \sqrt{\frac{E_r}{E_i}} \quad (1)$$

Naturalmente uma rigorosa modelação da reflexão, mesmo que empírica, deve incluir todos os parâmetros relacionados com cada um dos processos que intervêm no balanço da energia resultante da interacção onda-estrutura.

A modelação do fenómeno da reflexão é por isso um processo complexo, com elevado número de parâmetros e cuja incorporação no processo de cálculo deixa questões em aberto.

Uma das primeiras tentativas de quantificação do coeficiente  $C_r$  foi efectuada por Miche (1951), que define “coeficiente de reflexão teórico” para ondas regulares suficientemente declivosas que rebentam numa praia plana de declive  $\tan\zeta$ , como proporcional à razão da declividade máxima ao largo com a declividade ao largo.

Como esta hipótese considera apenas algumas características da onda, Battjes (1974) redefiniu a hipótese de Miche em termos de um parâmetro de caracterização da rebentação, conhecido por parâmetro de Iribarren. O parâmetro de Iribarren, para além de considerar a declividade da onda, relaciona-a com o declive da estrutura-obstáculo.

Actualmente a maioria das formulações disponíveis apoia-se em relações empíricas que envolvem o número de Iribarren e são definidas com base em resultados de ensaios laboratoriais. Como este parâmetro traduz a dissipação devida à rebentação, diversos autores procuraram fórmulas de determinação do coeficiente de reflexão com base noutros parâmetros e relações. Estes são a permeabilidade, a rugosidade, a profundidade relativa na base da estrutura ( $dt/L_0$ ), a altura relativa da crista ( $R_c/H_s$ ), a largura adimensional da estrutura ( $dt \cdot \cot\zeta / L_p$ ), o diâmetro médio do enrocamento ( $D, D_{n50}$ ) e o parâmetro não-linear da onda (II).

Salientam-se entre os vários trabalhos que têm sido desenvolvidos nesta área, os estudos de Seelig e Ahrens (1995), Davidson *et al.* (1996b) e Zanuttigh e Van der Meer (2006). Os dois primeiros sobressaem pela exploração de diversos parâmetros e análise relativamente à sua relevância no fenómeno em estudo, com base em conjuntos de dados de diversos outros autores. O terceiro é relevante por se apoiar em bases de dados, “CLASH” e “DELOS”, desenvolvidas no âmbito de projectos europeus e contribuindo para a definição de mais de meia dúzia de valores dos coeficientes empíricos da equação de Seelig (1983), considerando diferentes tipos de elementos artificiais constituintes do manto de protecção de quebra-mares, molhes e esporões.

No contexto nacional, a determinação do coeficiente de reflexão recorre normalmente às formulações mais difundidas, não havendo, na grande parte dos casos, qualquer análise de sensibilidade por via da aplicação de outra formulação equivalente, caso esta exista. Por vezes, atribuem-se mesmo coeficientes de reflexão sem recurso a formulações, apenas com base em intervalos definidos para cada tipo de estrutura. Este tipo de procedimentos carece de



## 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

avaliação, podendo, conforme a experiência do utilizador, conduzir a uma subestima ou sobrestima do valor do coeficiente de reflexão.

Devido a esta falta de avaliação da aplicação das formulações em casos portugueses levantam-se alguns problemas que serão abordados neste artigo, onde se apresenta uma síntese das várias formulações existentes e dos seus limites de aplicabilidade. Apresenta-se ainda o programa DeCRAF, desenvolvido com base neste estudo e que permite de forma rápida e correcta, escolher, para um caso de aplicação, a melhor formulação a utilizar e calcular o correspondente valor de Cr.

## 2 ANÁLISE DO COEFICIENTE DE REFLEXÃO

### 2.1 Considerações iniciais

O fenómeno da reflexão está intimamente ligado aos processos de conservação e dissipação de energia. Assim, é indispensável a compreensão destes processos para a análise da reflexão.

A ocorrência de uma alteração na profundidade quando uma onda se propaga implica que uma parte da sua energia será reflectida. Quando uma onda embate numa superfície vertical, impermeável, rígida, quase toda a sua energia é reflectida pela referida superfície. Por outro lado, a propagação num fundo de declive suave origina apenas uma reflexão de menor grau.

Como acima foi afirmado, define-se coeficiente de reflexão como o quociente entre a altura da onda reflectida ( $H_r$ ) e a altura da onda incidente ( $H_i$ ), ou em função das energias totais da onda reflectida ( $E_r$ ) e incidente ( $E_i$ ), tal como apresentado na expressão (1).

Segundo Goda (1985), e porque uma análise teórica não é totalmente exequível para o fenómeno da reflexão associado a uma rebentação provocada pelos obstáculos, os coeficientes de reflexão para a maioria das estruturas são normalmente estimados com base em formulações empíricas ou semi-empíricas, baseadas por sua vez em testes laboratoriais. Goda (1985) e Thompson *et al* (1996) definiram intervalos para os valores de coeficientes de reflexão que servem de orientação relativamente ao comportamento à reflexão de vários tipos de estrutura, que se apresentam no quadro seguinte.

**QUADRO 1** - Intervalos típicos do coeficiente de reflexão para ondas de curto período.

Tipo de Estrutura		Coeficiente de Reflexão
Parede vertical	Coroamento emerso	0,70 ~ 1,00
	Coroamento imerso	0,50 ~ 0,70
	Coroamento emerso e banquetas de protecção em enrocamento	0,40 ~ 0,60
	Dissipador vertical de energia	0,30 ~ 0,80
Talude suave impermeável	Coroamento emerso – talude de 1:1.5 a 1:2.5	0,50 ~ 0,90
	Coroamento imerso – talude de 1:1.5	0,30 ~ 0,50
Talude rugoso	Enrocamento – talude 1:1.5 a 1:3	0,30 ~ 0,60
	Enrocamento – talude menor que 1:3	0,10 ~ 0,25
	Blocos de betão, dissipadores de energia	0,30 ~ 0,50
Quebramar rugoso permeável	Enrocamento – talude 1:1.5	0,20 ~ 0,60
	Enrocamento – talude 1:2.6	0,10 ~ 0,40
	Dolos – talude 1:1.5 a 1:3	0,10 ~ 0,40
Praia natural		0,05 ~ 0,20

O Quadro 1 permite dotar de sensibilidade relativamente ao valor a adoptar, um utilizador das formulações apresentadas nesta comunicação.



O intervalo do coeficiente relativo a uma estrutura vertical depende da percentagem de galgamento e aumenta à medida que a cota de coroamento aumenta. Relativamente a taludes suaves e praias naturais, o coeficiente de reflexão é inversamente proporcional à declividade das ondas incidentes correspondendo os limites superiores à ondulação de longo período (Goda, 1985).

## 2.2 Parâmetros relevantes

### 2.2.1 Considerações gerais

Para melhor caracterizar o fenómeno da reflexão, é preciso conhecer as características do obstáculo e da onda incidente, tal como todos os processos envolvidos dos quais este depende.

A capacidade reflectora de um obstáculo dependerá da sua geometria, rugosidade e da porosidade da superfície. Se a superfície corresponder a um plano geométrico o coeficiente será fortemente condicionado pela inclinação ( $\zeta$ ) do talude e pela cota de coroamento sendo relevante a distância entre a superfície livre e o topo da estrutura ( $R_c$ ) e a sua relação com a altura significativa ( $H_s$ ), permitindo definir a altura relativa da crista ( $R_c/H_s$ ). A profundidade relativa na base da estrutura ( $d_i/L_0$ ) é igualmente um parâmetro físico que intervém no fenómeno da reflexão embora não se conheça a sua verdadeira importância no processo. O efeito da diminuição da profundidade na base da estrutura levará, no extremo, à rebentação da onda fora da influência da estrutura, reduzindo a reflexão. Pelo contrário, uma estrutura bastante permeável permite o aumento da transmissão da energia da onda com o aumento da profundidade na base da estrutura ( $d_t$ ), o que conduz igualmente à redução da reflexão da onda (Davidson *et al.*, 1996b).

A declividade da onda ( $s=H/L$ ), que relaciona adimensionalmente a altura ( $H$ ) e o comprimento de onda ( $L$ ), caracteriza bastante bem as formas de dissipação da energia da onda e consequentemente, a reflexão.

A largura da estrutura é igualmente uma característica de influência no processo de dissipação de energia e consequentemente no fenómeno da reflexão. Para considerar esta característica, Ahrens *et al.* (1993) definiram um coeficiente adimensional de largura da estrutura,  $\zeta$ , que corresponde à distância horizontal desde o nível de repouso (NR) até à base da estrutura, normalizada pelo comprimento de onda na base da estrutura, ou seja,  $d_i \cot \zeta / L_p$  ou  $X/L_p$ .

Existem vários parâmetros, para além das características da estrutura e da agitação incidente já anteriormente descritas, que também caracterizam os processos envolvidos em todo o balanço da energia, geralmente considerados nas formulações para determinação do coeficiente de reflexão. A descrição desses parâmetros será feita nos próximos pontos.

### 2.2.2 Número de Iribarren ou “surf similarity parameter”

O número de Iribarren ou “surf similarity parameter” é um parâmetro adimensional que relaciona o declive do talude do obstáculo, com a declividade da onda incidente, permitindo caracterizar o tipo de rebentação, e traduz-se através das seguintes relações:

$$\bullet \left| \frac{\tan \zeta}{\sqrt{\frac{2\phi H}{gT^2}}} \right| \left| \frac{\tan \zeta}{\sqrt{H/L_0}} \right| \left| \frac{m}{\sqrt{s}} \right| \quad (2)$$

A maior parte das formulações utilizadas na determinação do coeficiente de reflexão de ondas têm-se baseado em relações empíricas envolvendo o número de Iribarren. De acordo com Battjes (1974), o número de Iribarren descreve bem a forma de rebentação da onda e a dissipação devida à rebentação. Os processos de dissipação turbulenta devidos á rugosidade da estrutura e de transmissão por cima e através da estrutura não estão incluídos neste



número. Por isso, as expressões que se baseiam neste parâmetro apresentam coeficientes empíricos adicionais para incluir o efeito desses processos.

### 2.2.3 Número de Reflexão adimensional

O número de reflexão adimensional, R, foi definido por Davidson *et al.* (1996) e resultou de uma parametrização melhorada com base em resultados de modelos à escala real recolhidos pelo autor, e é dada por:

$$R = \left| \frac{L_0^2 d_t \tan \zeta}{H_i D^2} \right| \cdot \left[ \frac{R}{C} \frac{L_0^{\frac{3}{2}} d_t}{H_i^{\frac{1}{2}} D^2} \right] \quad (3)$$

### 2.2.4 Parâmetro de transmissão

O parâmetro de transmissão, T, assim referido por Davidson *et al.* (1996b), corresponde ao termo do diâmetro relativo que Van der Meer (1992), demonstrou empiricamente estar relacionado com o fenómeno de transmissão da onda e é dado por:

$$T = \frac{D}{H_i} \quad (4)$$

onde D é o diâmetro característico do enrocamento e  $H_i$  a altura da onda incidente.

### 2.2.5 Parâmetro de rugosidade

O parâmetro de rugosidade, PR, foi definido por Seelig e Ahrens (1981), considerado e analisado por Davidson *et al.* (1996b) na previsão do fenómeno da reflexão e é dado por:

$$PR = \sqrt{\frac{D}{L_0}} \cot \zeta \quad (5)$$

Este parâmetro aumenta com o aumento do diâmetro do enrocamento, D, relativamente ao comprimento de onda da estrutura,  $L_0$ , e com a redução do declive do talude da estrutura,  $\cot \zeta$ . Declives suaves permitem o aumento da dissipação da energia devido ao efeito da turbulência e da viscosidade da água no fundo.

### 2.2.6 Coeficiente de permeabilidade

O coeficiente de permeabilidade, P, foi definido por Van der Meer (1988) com o objectivo de quantificar a condutividade hidráulica de uma estrutura. Este coeficiente não tem significado físico, mas é considerado para garantir a intervenção da permeabilidade nos processos de dissipação de energia, tal como no da reflexão. Segundo Van der Meer (1988) e Seelig e Ahrens (1995), P é quantificado como:

QUADRO 2 – Quantificação do coeficiente de permeabilidade, P.

P	Descrição
0,10	estrutura com núcleo impermeável (manto: 2 camadas; filtro: $D_{n50}/4,5$ e esp: $D_{n50}/2$ )
0,35*	estrutura intermédia (manto: 1 camada; filtro: $D_{n50}/2$ e esp: $D_{n50}/2$ ; núcleo: $D_{n50}/5,3$ )
0,40	estrutura intermédia (manto: 2 camadas; filtro: $D_{n50}/2$ e esp: $D_{n50}/2$ ; núcleo: $D_{n50}/5,3$ )
0,40*	estrutura intermédia (manto: 1 camada; filtro: $D_{n50}/2$ e esp: $1,5D_{n50}$ ; núcleo: $D_{n50}/4$ )
0,50	estrutura com núcleo permeável (manto: 2 camadas; núcleo: $D_{n50}/3,2$ )
0,60	estrutura homogénea

\* estimativas para os ensaios de Allsop e Channel (1989)

### 2.2.7 Parâmetro não-linear da onda

As teorias estatísticas da agitação marítima baseiam-se na hipótese de a função distribuição da superfície livre instantânea poder ser expressa através de uma distribuição normal.



## 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

Em pequenas profundidades o desvio da assimetria da distribuição normal relativamente ao valor zero torna-se significativo. Goda (1983), para contemplar este efeito provocado pela não linearidade da onda, propõe o seguinte parâmetro como índice da extensão da não linearidade,  $M$ , dado por:

$$M = \frac{H/L_A}{\tanh^3 \frac{2\phi h}{L_A}} \quad (6)$$

em que  $\omega^2 = (2\phi/T)^2 = gk_A \tanh k_A h$  e  $k_A = 2\phi/L_A$ .

$L_A$  significa o comprimento de onda calculado pela teoria da onda em pequenas amplitudes ou seja, teoria de Airy.

O valor positivo da assimetria sugere que as alturas da crista da onda são maiores que as profundidades na zona da cava.

### 3 FORMULAÇÕES PARA O CÁLCULO DO COEFICIENTE DE REFLEXÃO

#### 3.1 Introdução

Foi efectuada uma extensa pesquisa bibliográfica com o objectivo de fazer o levantamento das formulações existentes para a determinação do coeficiente de reflexão. O resultado da pesquisa efectuada apresenta-se nas páginas seguintes sob a forma de um quadro. Este quadro apresenta o levantamento das formulações por ordem cronológica, podendo acompanhar-se o desenvolvimento das formulações para o cálculo do coeficiente de reflexão.

A apresentação de cada formulação é acompanhada de uma descrição dos princípios subjacentes, tal como as características mais relevantes de cada expressão. É ainda referido o domínio de aplicação, as limitações do método e o tipo de estrutura associados a cada formulação, que se encontra traduzido por um número (tipo 1 a tipo 20). No **Error! Reference source not found.** encontra-se a estrutura associado a cada tipo.

Por último, indicam-se as referências consultadas, o que se considerou relevante por na maior parte dos casos se ter obtido informações através de trabalhos de outros autores, que não o próprio. Tal permite igualmente conhecer-se quais as formulações mais divulgadas, o que corresponderá, provavelmente, às mais utilizadas.

As formulações apresentadas foram seleccionadas entre todas as compiladas, com base nos seguintes pressupostos:

1. Formulações aplicáveis às estruturas do tipo das existentes em Portugal Continental e Arquipélagos;
2. Formulações cujo domínio de aplicação seja compatível com as características do clima de agitação que ocorre em Portugal Continental e Arquipélagos;
3. Formulações mais recentes e/ou mais utilizadas;
4. Formulações dependentes de um maior número de parâmetros.

Consideraram-se as formulações a partir de 1983, ano em que Seelig (1983) apresenta uma expressão em função do número de Iribarren e de dois parâmetros empíricos ( $a$  e  $b$ ), expressão esta bastante utilizada por diversos autores, variando os parâmetros empíricos em função do tipo de estrutura e condições de agitação.

Como a maioria das estruturas da costa portuguesa correspondem a estruturas de taludes, as expressões relativas a este tipo de estruturas foram retidas, tanto para estruturas impermeáveis como permeáveis, emersas e imersas.





## 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

Também foi considerada a formulação de Allsop, McBride e Colombo (1994) para estruturas verticais, pois embora este não seja o tipo de estrutura mais utilizada em Portugal, encontra utilização nos cais, que correspondem na maioria dos casos a paredes verticais.

A análise das formulações seleccionadas será feita com base nos parâmetros de que dependem e, conseqüentemente, no tipo de expressão, tal como no tipo de estrutura a que se refere.

QUADRO 3 – Legenda do Quadro 4.

Tipo de Estrutura		Permeabilidade	Condição de galgamento
Tipo 1	praia		
Tipo 2	talude liso simples	impermeável	não galgável
Tipo 3	talude liso	impermeável	submerso
Tipo 4	talude rugoso	permeável	não galgável
Tipo 5	talude com duas camadas de enrocamento	permeável	não galgável
Tipo 6	talude rugoso	núcleo impermeável	não galgável
Tipo 7	talude com uma camada de enrocamento	núcleo impermeável	não galgável
Tipo 8	talude com duas camadas de enrocamento	núcleo impermeável	não galgável
Tipo 11	talude de elementos - Tetrapodos e Stabit	permeável	não galgável
Tipo 12	talude de elementos - Shed e Diode	permeável	não galgável
Tipo 14	talude de elementos - Antifer	permeável	não galgável
Tipo 20	plano vertical liso assente num fundo de declive 1:50.	impermeável	não galgável

### 3.2 Análise das Formulações

#### 3.2.1 Formulação em função do número de Iribarren, •

Segundo Seelig e Ahrens (1981), Battjes (1974) contribuiu para a compreensão dos factores que influenciam a reflexão das ondas demonstrando claramente a importância do número de Iribarren (ou “surf similarity parameter”) em vários processos da agitação marítima, tais como a reflexão, o “run-up”, a rebentação e a quantidade relativa da dissipação de energia.

Como foi referido, a maior parte das formulações de previsão do coeficiente de reflexão baseiam-se em relações empíricas que envolvem o número de Iribarren. Este por sua vez relaciona-se com a rebentação. No entanto, os processos turbulentos de dissipação devidos à rugosidade da estrutura e o processo de transmissão de energia sobre e através da estrutura não estão directamente associados a este parâmetro. Por isso são normalmente considerados através de coeficientes adicionais  $a$  e  $b$  (Davidson *et al*, 1996b), obtendo-se a seguinte expressão:

$$C_r \propto \frac{a \bullet^p}{b 2 \bullet^p} \quad (7)$$

Vários autores, com base nos resultados dos seus ensaios, ajustaram uma curva do tipo da expressão (7), tendo obtido diversos conjuntos de valores para os parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $p$ .

**QUADRO 4 - Resultado da pesquisa de formulações para o cálculo de coeficientes de reflexão**

Autor	Princípios e características	Expressão	Domínio de aplicação e Limitações do método	Tipo de Estrutura	Referências
Seelig, 1983	Segundo Seelig a maior parte da perda de energia deve-se à rebenetação. Esta define-se em função do número de Iribarren, considerando relevante relacionar o coeficiente de reflexão com este parâmetro.	$Cr = a^2 / (b + \zeta^2)$ ; a = 0,50; b = 5,5	Pratas.	1	CEM (2005) e Pilarczyk e Zechler (1996)
		$Cr = a^2 / (b + \zeta^2)$ ; a = 1,00; b = 5,50 ou 6,20	2,5 m m6. ondas regulares.	2	CEM (2005) e Pilarczyk e Zechler (1996)
		$Cr = a^2 / (b + \zeta^2)$ ; a = 1,10; b = 5,70	ondas irregulares	2	CEM (2005) e Pilarczyk e Zechler (1996)
		$Cr = a^2 / (b + \zeta^2)$ ; a = 0,6; b = 6,6	Estimativa conservativa	4	CEM (2005) e Pilarczyk e Zechler (1996)
Allsop e Hettiarachchi, 1988	Com base na equação de Seelig (1983), foram obtidos valores para os coeficientes a e b com base em ensaios realizados pelos autores.	a = 0,48; b = 9,62 a = 0,49; b = 7,94	2,5 m p m6. ondas irregulares e declives 1:1,33; 1:1,5 e 1:2 3 m p m6.5. ondas irregulares e declives 1:1,33; 1:1,5 e 1:2	11 12	CEM (2005) CEM (2005)
Postma, 1991	Para uma aproximação mais precisa, Postma (1989) com base na análise dos dados de reflexão de van der Meer's (1988) para taludes de enrocamento não galgáveis, propõe uma nova formulação, que traduz o efeito combinado da influência do declive-ângulo de incidência da onda-declividade. Postma introduziu a notação de P permeabilidade, o ângulo do declive, $\zeta$ e a declividade da onda, $S_p$ (estudo efectuado com agitação irregular)	$Cr = 0,071 (P)^{0,002} (\cot^2 \zeta)^{0,02} (S_p)^{0,46}$	$\alpha(Cr) = 0,036$	4	CEM (2005), Pilarczyk e Zechler (1996) e CIRIA Report154 (1991)
Allsop, 1990	Com base na equação de Seelig (1983), Allsop propõe valores para os coeficientes a e b obtidos com base em ensaios com ondas irregulares, realizados por Allsop e Channel (1989).	a = 0,96; b = 4,8	3 m m m6 ou 0,004 < S <sub>m</sub> < 0,052 e 0,6 < H <sub>1/3</sub> / D <sub>50</sub> < 1,9. Ensaios com taludes lisos simples não galgáveis.	2	Salehjour et al. (2004), CEM (2005), Pilarczyk e Zechler (1996) e CIRIA Report154 (1991), Taveira et al. (1998).
		a = 0,64; b = 7,22	3 m m m6 ou 0,004 < S <sub>m</sub> < 0,052 e 0,6 < H <sub>1/3</sub> / D <sub>50</sub> < 1,9.	7	Salehjour et al. (2004), CEM (2005), Pilarczyk e Zechler (1996) e CIRIA Report154 (1991), Taveira et al. (1998).
		a = 0,64; b = 8,85	3 m m m6 ou 0,004 < S <sub>m</sub> < 0,052 e 0,6 < H <sub>1/3</sub> / D <sub>50</sub> < 1,9.	8	Salehjour et al. (2004), CEM (2005), Pilarczyk e Zechler (1996) e CIRIA Report154 (1991), Taveira et al. (1998).
Ahrens et al., 1993	Equação bastante testada que permite prever com fiabilidade coeficientes de reflexão para condições de escoamento laminar, de transição e turbulento, tal como para ondas regulares e de espectro unimodal e bimodal. Serve para a previsão do coeficiente de reflexão de ondas sem rebenetação. Expressão validada com base em dados experimentais de Ahrens e Titus (1981) e Madsen e White (1976).	$Cr = \exp\left[\zeta^2 (a+b^{-1})\right]$ ; Il = (H/L <sub>w</sub> ) / (tanh <sup>3</sup> (20h/L <sub>w</sub> )); a = 0,686; b = -3,37	- 4. Ensaios com condições de ondas regulares e irregulares sem rebenetação.	2	Seelig e Ahrens (1995)
		Valor de transição = ((4+*)/1,5) <sup>1,5</sup> (previsão de rebenetação) + ((-2,5)/1,5) <sup>1,5</sup> (previsão de não rebenetação)	2,5 < < 4,0. Ensaios de ondas irregulares com ou sem rebenetação.	2	Seelig e Ahrens (1995)
Benoit and Teisson, 1994	Método de interpolação baseado na previsão de rebenetação. Determinação do coeficiente de reflexão sob acção de ondas de transição. Método de previsão da reflexão da onda espectral num plano de declive suave para ondas em zona de rebenetação. Expressão validada com base em dados experimentais de Ahrens e Titus (1981). Com base na equação de Seelig (1983), obtiveram-se os valores dos coeficientes a e b com base em ensaios realizados pelo autor.	$Cr = 1 - \exp(-0,06 * \zeta^{2,4} - 0,5 * H_{m0} / d)$ a = 0,6; b = 6,6 a = 0,65; b = 25 a = 0,60; b = 35 a = 0,64; b = 80	m2,5; Op > 2,5. Ensaios com ondas irregulares com rebenetação. 2,7 m p m7. Hs: 0,03-0,09m; Tp = 1,3s; d = 0,4m; declives 1:1,33; 1:1,5; 1:2 8 m p m50. condições experimentais: declive do talude de enrocamento 1:1,1; profundidade h, h > 3,25m 8 m op m50. Medidas em campo com declive do talude de enrocamento 1:1,1; Profundidade h, 2,5m m6. 25m. 8 m op m50. Medidas em campo com declive do talude de enrocamento 1:1,1; Profundidade h, h < 2,5m.	2 5 4	Seelig e Ahrens (1995) CEM (2005) CEM (2005) CEM (2005)
Davidson et al., 1994	Com base na equação de Seelig (1983), o autor propôs valores para os coeficientes a e b obtidos com base em medições de campo por si realizadas.	Cr = 0,79 - 0,11Rc/Hs	Rc/Hsmf 0. Condições experimentais: Hs: 0,1m; 0,2m; 0,25m. 0,02m; 0,06. hs = 0,43 m e 0,61 m.	20	CEM (2005) CEM (2005)
Allsop, McBride, e Columbo 1994	Coefficiente de reflexão obtido em função da altura relativa da crista (Rc/Hs) para o caso de estruturas verticais sob fundo de inclinação muito suave.	Cr = 0,90	Rc/Hs > 1,0. Condições experimentais: Hs: 0,43 m e 0,61 m.		CEM (2005)



**QUADRO 4 - Resultado da pesquisa de formulações para o cálculo de coeficientes de reflexão**

Autor	Princípios e características	Expressão	Domínio de aplicação e Limitações do método	Tipo de Estrutura	Referências
Seelig e Ahrens, 1985	As seguintes equações foram desenvolvidas com os objectivos: de serem relativamente simples sem incluírem variáveis ambíguas ou de influência marginal; de serem consistentes com os dados experimentais para vários tipos de agitação e estruturas; de serem consistentes com o actual entendimento dos processos físicos e de se aproximarem de valores limites da prática. Estas equações incluem coeficientes empíricos, mas os termos apoiam-se na experiência da engenharia acústica, por isso estas equações podem ser aplicadas para prever com confiança os coeficientes de reflexão e dissipação da onda para uma grande variedade de condições.	$C_r = 1 / (1 + \zeta_{\text{Dns}}^{0.5} \exp(\rho))$ $\rho = 2,29 / (\cot \zeta)^{0.3} (D_{\text{ns}} / L_p)^{0.15} (1 + H/dt)^{1.5} + p^{0.4} (\cot \zeta)^{0.1}$	<p>- 4; 0 &lt; P &lt; 0,6; Hs &gt; 0,77 dt. Ensaios com condições de ondas regulares e irregulares, ondas sem rebenetação. Expressão validada com base em dados experimentais com ondas regulares de Madsen e White (1976), e com ondas irregulares de Ahrens e Heimbaugh (1988), Alsop e Channell (1989), Postma (1989) e Ward e Ahrens (1992). (ver Quadro 7)</p> <p>m2,5; (Dns/0Hmo) m1; f m1; -0,5*(Hmo/dt) -0,6*(Hmo/dt). Ensaios com condições de ondas regulares e irregulares, ondas com rebenetação. Expressão validada com base em dados experimentais com ondas irregulares de Ahrens e Heimbaugh, 1988, Alsop e Channell, 1989, Postma, 1989, Ward e Ahrens, 1992 e Ward, 1992. (ver Quadro 7)</p>	2 e 4	Seelig e Ahrens (1985)
Davidson et al., 1996	Davidson et al (1996) definiram um novo parâmetro adimensional, para análise das medidas que efectuaram à escala real (numa ilha de encrocamento natural) antes e depois de uma modificação no declive do talude. Enquanto as equações baseadas em R forneceram uma excelente previsão da reflexão da onda para os dados à escala real, foi obtida fraca correlação para os dados de laboratório de Seelig e Ahrens (1981), Alsop e Channell (1989) e Postma (1989).	$C_r = 0,151 R^{0.11}$ ou $C_r = (0,635 - R) / (41,2 + R)$	<p>0,0008mHs/L<sub>p</sub>m0,036; 0,82m<sup>0,5</sup>ct<sub>l</sub>m<sub>l</sub>55; 0,98mD/Hm23,39; 0,02mD/L<sub>p</sub>cot<sub>l</sub>m0,51; P=0,6; 0,003m/L<sub>p</sub>m0,360; 0,03mHs/H<sub>p</sub>m0,68; 3m<sup>0,11</sup>13</p>	4	Davidson et al. (1996)
Davidson et al., 1996	De forma a desenvolver uma equação capaz de produzir uma boa correlação com dados de campo e de laboratório Davidson et al. apresenta uma nova expressão. Com base na relação não linear entre Cr e algumas variáveis ensaiadas por Davidson et al, estes concluem que a melhor previsão da reflexão da onda corresponde a uma expressão que depende de cinco parâmetros: o número Irbarren, a transmissão, a rugosidade, a permeabilidade e a profundidade relativa na base da estrutura.	$C_r = 0,298 \log(\bullet - 0,011(D/H)) - 0,32 \log(\sqrt{D}/L_{\text{cont}}) - 0,191 P - 0,358(d/L_{\text{p}}) - 0,049$	<p>intervalos dos ensaios de Seelig e Ahrens (1981), Alsop e Channell (1989), Postma (1989) e Davidson et al. (1996) (ver Quadro 5)</p>	4	Davidson et al. (1996)
Sutherland e O'Donoghue, 1998b	Formulação obtida a partir de dados experimentais de reflexões de ondas irregulares em estruturas impermeáveis.	$C_r = \frac{r^{2,55}}{r^{2,55} + 7,64 + r^{2,55}}$ ; $r = \tan \zeta \sqrt{d_i} - g/2 H_s$	<p>condições experimentais: Hs=15;43;53;90mm.; d<sub>i</sub> =145;230;3 f<sub>r</sub>=0,50;0,62;0,70;0,87;1,0;1,12;1,31; (V:H)=(1;1,1,2,1,3,1,4).</p>	2	SEM (2005) e Sutherland e O'Donoghue (1998b)
Taveira-Pinto et al., 1999	Formulação obtida a partir de dados experimentais de reflexões de ondas irregulares em quebra-mares de encrocamento.	$C_r = 0,82 \frac{r^2}{(22,85 + r^2)}$ ; $r = \tan \zeta \sqrt{d_i} - g/2 H_s$	<p>condições experimentais: Hs=44;49;78;89mm.; d<sub>i</sub> =2 f<sub>r</sub>=0,38;0,50;0,68;0,70;1,0;1,25. (V:H)=(1;2).</p>	4	SEM (2005) e Sutherland e O'Donoghue (1998b)
Taveira-Pinto et al., 1999	Com base na equação de Seelig (1983), os autores obtiveram os valores dos coeficientes a e b com base em resultados de ensaios em modelo físico com quebra-mar submerso liso.	a=0,96; b=4,80	<p>condições experimentais: m - (1,0;1,5;2,0); he - 0,2; B - 0,05. Ondas ensaiadas: (H:T), (0,027m;0,92s); (0,033m;0,91s)). Profundidade: h - (0,18;0,20,22). Intervalo de validade do número de Irbarren 3 &lt; &lt; 9</p>	3	Taveira-Pinto et al. (1999a)
Salehipour et al., 2004	Coeficientes a e b obtidos para uma expressão do tipo Cr=a / (b+ ) com base em resultados de modelo físico com quebra-mar submerso liso sob a incidência de ondas irregulares (espectro Jonswap), parâmetro de Irbarren de acordo com 1 < < 1,2 e d/gT <sup>2</sup> igual a 0,0142 (Tp=1,2s)	Cr=a / (b+ ); a= 1,83; b= 14,3	<p>condições experimentais: m - (1,0;1,5;2,0); he - 0,2; B - 0,05; h - igual a 1,2s), V/H=1;1; 2,3 e 1,2; he=0,2; B=0,05; dt=0,2.</p>	3	Taveira-Pinto et al. (1999b)
Salehipour et al., 2004	Formula obtida com base em 174 testes experimentais realizados para investigação do efeito da estrutura e dos parâmetros da onda na reflexão em estruturas de encrocamento. Os ensaios foram feitos para uma secção transversal de um molhe de taludes com quatro tipos de declives diferentes. Foram obtidas duas equações empíricas para previsão da reflexão de ondas. O declive inicial da estrutura é um parâmetro importante e condicionante na reflexão em estruturas de encrocamento em constante ajustamento.	$C_r = -0,147 L / (\sin \theta_m) \cot \zeta^{0,521}$	<p>condições experimentais: escala do modelo 1:20; N=1000, 2000 e 3000; Hs=1 a 2,25 metros; Tm=4, 6 e 8 segundos; tan ζ =1,25;1,5; e 3. Dn85/Dn15=1,85; W50=360kg, vs=2,6l/m3. (ver Quadro 6)</p>	4	Salehipour et al. (2004)
Zanuttigh e Van der Meer, 2006	Formulações obtidas com base nos resultados dos ensaios efectuados no âmbito dos projectos europeus DELOS e CLASH para vários tipos de estruturas.	$C_r = \min(0,08 + p, 0,65)$	<p>0,5 &lt; p &lt; 0,0 1,5 &lt; p &lt; 12</p>	6 4	Zanuttigh e Van der Meer (2006)
Zanuttigh e van der Meer, 2006	Com base na equação de Seelig (1983), foram obtidos os valores dos coeficientes a e b a partir dos resultados dos ensaios efectuados no âmbito dos projectos europeus DELOS e CLASH para vários tipos de estruturas. *São apresentados dois ajustes de parâmetros aos dados existentes. No primeiro caso definem-se pares de valores a e b; no segundo caso considera-se a = 0,75(para combinar com a maior dimensão do encrocamento permeável do conjunto de dados) e b' é em primeira aproximação o valor proposto por Alsop e Hettiarachchi (1989).	<p>(a=0,51, b=7,9); (a=0,75, b= 7,15)* (a=0,48, b=9,6); (a=0,75, b=17)*</p>	<p>2,5 &lt; p &lt; 5,0</p>	14	Zanuttigh e Van der Meer (2006)

Seelig e Ahrens (1981) apresentam as curvas da Figura 2 para determinação do valor de  $C_r$  em função de  $\bullet_p$ , para taludes lisos (a), quebra-mares (limite superior) (b) e praias (c). Os parâmetros a e b são determinados através do ajuste da função traduzida pela equação (7) à curva de dimensionamento correspondente.

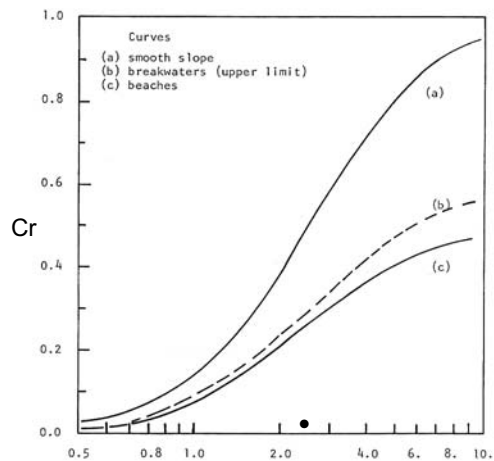


FIGURA 2 – Curvas de dimensionamento (Seelig, 1983)

Segundo Van der Meer (1988), para estruturas de enrocamento com manto exterior de protecção, a permeabilidade do material sob o manto tem um grande efeito na reflexão, e por isso os núcleos permeáveis e impermeáveis devem ser estudados separadamente. Assim, com base na equação simples (8) e com o apoio das bases de dados criadas no âmbito dos projectos europeus DELOS e CLASH para vários tipos de estruturas, definiram-se valores para os parâmetros, a, b e p.

$$C_r \propto a \bullet_p^b \quad (8)$$

Os valores atribuídos a a, b e p encontram-se no Quadro 4.

Na Figura 3, Zanuttig e Van der Meer (2006), são apresentados os resultados para taludes não galgáveis ou dificilmente galgáveis constantes na base de dados de reflexão de ondas criada no âmbito do projecto CLASH. As equações (1) e (2) indicadas na Figura seguinte são as apresentadas em (8).

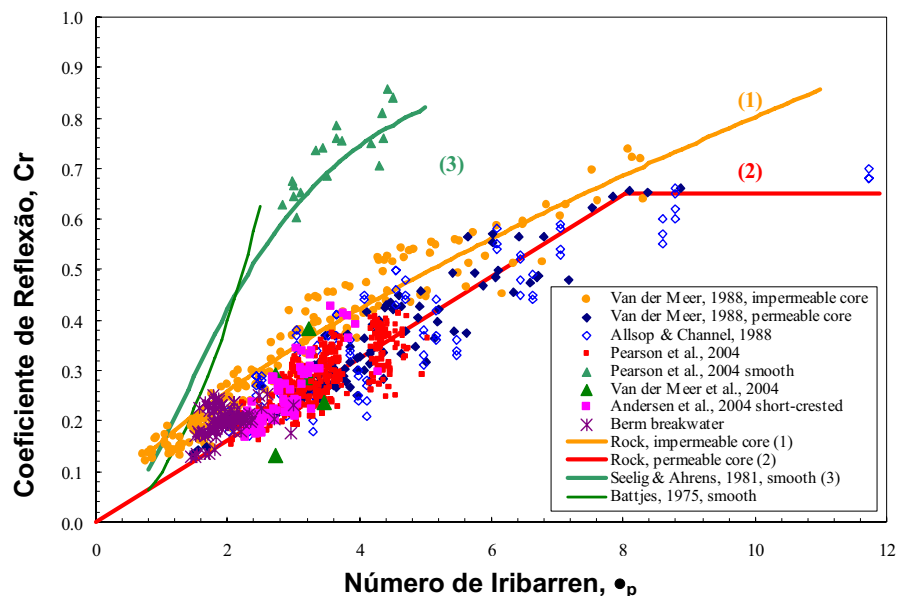


FIGURA 3 – Resultados globais da reflexão para taludes não galgáveis ou dificilmente galgáveis (Zanuttig e Van der Meer, 2006).



### 3.2.2 Formulação em função do número de Reflexão adimensional, R

Davidson *et al.* (1996b) recolheram vários dados à escala real, na frente de um quebra-mar natural (rock island), antes e depois de lhe ser adicionados mais elementos na face exterior da estrutura. A modificação introduzida tinha como objectivo a redução do declive da estrutura, de forma a aumentar a estabilidade estrutural e reduzir a reflexão.

A comparação dos resultados obtidos para o coeficiente de reflexão versus número de Iribarren antes e depois da modificação mostrou dois grupos diferentes. A incapacidade do número de Iribarren para condensar ambos os grupos de resultados numa única curva, demonstrou a limitação inerente à adopção de formulações com base num único parâmetro.

Devido à limitação da aplicação do número de Iribarren, Davidson *et al.* (1996b) apresentaram uma previsão do coeficiente de reflexão para estruturas de enrocamento com recurso ao conjunto de dados apresentados no Quadro 5, em função de um parâmetro intitulado número de reflexão, definido pela letra R.

**QUADRO 5** - Síntese dos conjuntos de dados e técnicas de análise considerados por Davidson *et al.* (1996b).

Autor	Tipo de dados	Hs/Lo	Cotζ	D/Hs	$\sqrt{D/L_o} \cot \zeta$	P	dt/Lo	Hs/Hb	•	Cr	Método de análise
Seelig e Ahrens, 1981	Laboratório	0,005-0,050	2,5	0,52-1,67	0,12-0,57	0,04	0,015-0,369	0,49-0,11	1,8-7,5	0,115-0,561	Goda e Suzuki, 1976
Allsop e Channell, 1989	Laboratório	0,003-0,040	1,50-2,50	0,31-0,94	0,08-0,29	0,04-0,1	0,075-0,342	0,06-0,29	2,0-11,7	0,170-0,700	Goda e Suzuki, 1976
Postma, 1989	Laboratório	0,002-0,057	1,50-3,00	0,16-0,87	0,07-0,65	0,1-0,6	0,02-0,289	0,09-0,95	0,7-8,9	0,122-0,738	Kajima, 1969
Davidson et al., 1996	Campo	$3 \times 10^{-4}$ -0,036	0,82	1,19-23,39	0,02-0,30	0,6	0,003-0,360	0,03-0,46	10,0-113,0	0,263-0,734	Gaillard et al., 1982
Davidson et al., 1996	Campo	$8 \times 10^{-4}$ -0,021	1,55	0,98-9,60	0,09-0,51	0,6	0,007-0,074	0,08-0,68	3,0-26,5	0,274-0,600	Gaillard et al., 1982

Os conjuntos de dados correspondem a 780 pontos de registo.

Em todas as condições o galgamento não foi considerado significativo.

Apresenta-se de seguida a expressão definida por Davidson *et al.* (1996b) em função do número de reflexão R, obtida através da parametrização dos resultados da reflexão da onda para determinação do coeficiente de reflexão.

$$Cr \mid \frac{a\sqrt{R}}{b 2 \sqrt{R}} \quad (9)$$

$$Cr \mid aR^b \quad (10)$$

A presente equação conduz a uma excelente previsão do coeficiente de reflexão para os resultados de medições à escala real, passando-se o contrário relativamente a dados de ensaios laboratoriais. Estas inconsistências podem, em parte, ser explicadas pelos efeitos de escala que podem contribuir significativamente para diferenças entre os dados de campo e de laboratório, mas mais significativo será o carácter empírico das equações (9) e (10), pela limitação dos dados a partir dos quais estas foram definidas.

A vantagem desta aproximação é que, apesar de ser empírica, os resultados deste método de previsão são bastante robustos para um vasto domínio de aplicação.

### 3.2.3 Formulação em função da relação Rc/Hs

Allsop, McBride e Colombo (1994) efectuaram, para o caso específico de um quebramar vertical liso implantado num fundo de inclinação 1:50, a determinação do coeficiente de

reflexão com base na relação entre a altura do coroamento da estrutura acima do nível de repouso,  $R_c$ , e a altura significativa da onda,  $H_s$ , dada por:

$$C_r = a + b \frac{R_c}{H_s} \quad (11)$$

Onde:  
 $R_c/H_s \leq 1,0$ :  $a=0,79$ ;  $b=0,11$ .  
 $R_c/H_s > 1,0$ :  $C_r=0,90$

Os ensaios com base no quais se definiram os parâmetros  $a$  e  $b$  da equação proposta tinham as seguintes características:  $H_s=0,1$  m;  $0,2$  m;  $0,25$  m.  $0,02 \leq s_m \leq 0,06$ .  $d_t=0,43$  m e  $0,61$  m., tal como referido na Figura 4.

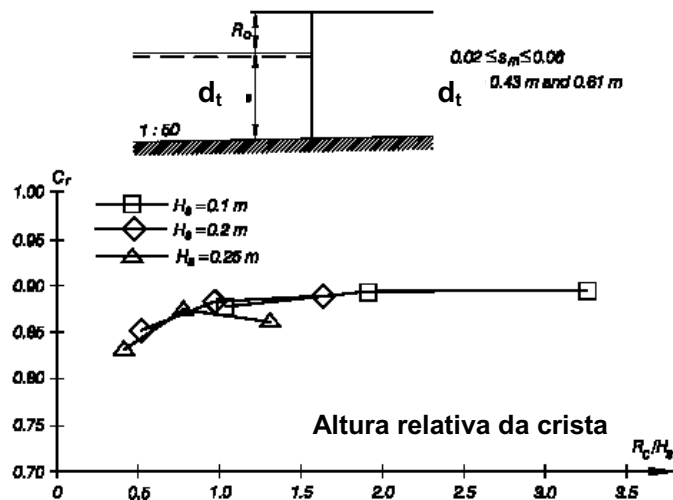


FIGURA 4 – Coeficientes de reflexão da onda para uma parede lisa vertical assente num fundo de inclinação 1:50 por Allsop, McBride e Colombo (1994) (CEM 2005)

Os referidos autores propuseram os parâmetros indicados no Quadro 4.

### 3.2.4 Formulação em função da declividade, $s_m$ , e do ângulo do talude, $\zeta$

Salehipour *et al* (2004), com base em vários ensaios experimentais, estudaram o efeito do declive de quebra-mares de enrocamento na reflexão de ondas irregulares. Para a separação do espectro incidente e do espectro reflectido foi utilizado o método dos mínimos quadrados de Mansard e Funke (1980).

De seguida apresenta-se uma síntese dos valores das condições adoptadas nos ensaios experimentais.

QUADRO 6 – Síntese das condições ensaiadas.

Parâmetro	Valores experimentais
escala	1:20
N	1000, 2000 e 3000
$H_s$	1,00 a 2,25 m
$T_m$	4, 6 e 8 s
$\tan \zeta$	1,25, 1,5, 2 e 3
$D_{n85}/D_{n15}$	1,82
$W_{50}$	360 kg
$\Psi_a$	2,6 t/m <sup>3</sup>



## 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

Com base nos resultados obtidos, através de uma análise de regressão múltipla, Salehipour *et al.* (2004) desenvolveram a equação (12) para taludes rugosos em que os parâmetros  $a$  e  $b$  são respectivamente -0,147 e -0,521.

$$C_r | a \ln(s_m) * \cot \zeta^b \quad (12)$$

Através do estudo efectuado, os autores concluíram também que:

- € Quando o declive se reduz, a reflexão da onda diminui;
- € Quando aumenta a área de estragos na estrutura, a reflexão da onda diminui;
- € O aumento do período da onda leva a que a reflexão aumente;
- € Quando ocorre decréscimo de  $\bullet$ , a reflexão da onda decresce de forma logarítmica;

### 3.2.5 Formulação em função da permeabilidade, $P$ , ângulo do talude, $\zeta$ e da declividade da onda, $s_p$

Postma (1989), com base em dados de Allsop e Channell (1989) e de Van der Meer (1988), define uma expressão simples com base na equação (8) que apresenta um desvio padrão de 0,055 relativamente aos dados. Nesta formulação são introduzidos outros parâmetros independentes: o coeficiente de permeabilidade, o ângulo do talude e a declividade da onda, sendo dada por:

$$C_r | aP^b \cot \zeta^c s_p^d \quad (13)$$

Obteve-se, assim, uma redução do desvio padrão para 0,036.

### 3.2.6 Formulação com base no coeficiente adimensional de largura da estrutura, $\zeta$ , no parâmetro não-linear da onda, $II$ , no número de Iribarren, $\bullet$ , e na relação $H_{mo}/d_t$

O método apresentado por Ahrens *et al.* (1993) para previsão do coeficiente de reflexão de estruturas de talude liso sob a acção de agitação irregular sem que ocorra rebentação é dado por:

$$C_r | \exp[\zeta (a 2 b \hat{II})] \quad (14)$$

A referida equação foi comparada com os dados de Madsen e White (1976) e Ahrens e Titus (1981), tendo demonstrado bastante fiabilidade na previsão do coeficiente de reflexão em condições de escoamento laminar, turbulento e de transição. De acordo com Seelig e Ahrens (1995), a equação (14) apresenta igualmente previsões fiáveis dos coeficientes de reflexão para ondas regulares, tal como para espectros unimodais e bimodais. Isto sugere que a equação é geralmente aplicável na previsão de coeficientes de reflexão de ondas sem rebentação.

Ahrens *et al.* (1993), apresentaram igualmente um método para a previsão da reflexão de espectros de ondas em taludes lisos sob acção de ondas em processo de rebentação (i.e.  $\bullet > 2,5$ ), que é dada por:

$$C_r | 14 \exp(a \bullet^c 4 b \frac{H_{mo}}{d_t}) \quad (15)$$

Com base no estudo dos dados de Ahrens e Titus (1981) e Madsen e White (1976), constatou-se que vários ensaios tinham sido efectuados utilizando um largo espectro largo bimodal (i.e.  $Q_p < 2,5$ ). Nos referidos ensaios o valor de  $T_p$  já não era representativo das condições de onda, por isso o número de Iribarren deixou de servir como medida do fenómeno da reflexão. Com base no referido efeito, a equação (15) apenas é válida para  $Q_p > 2,5$ .



## 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

Para obtenção do coeficiente de reflexão numa situação intermédia, pode utilizar-se a equação (16), que corresponde a um método de interpolação entre as duas equações (14) e (15) descritas anteriormente. Esta equação corresponde a:

$$C_r = \left( \frac{a^4}{c} \right) * C_{r(15)} + 2 \left( \frac{b^4}{c} \right) * C_{r(14)} \quad (16)$$

### 3.2.7 Formulação com base no coeficiente adimensional de largura da estrutura, $\zeta$ , no ângulo do talude, $\zeta$ , e nas relações $D_{n50}/L_p$ , $D_{n50}/H_{mo}$ e $H_{mo}/d_t$

Com base nos resultados dos ensaios de Madsen e White (1976), de Allsop e Channel (1989) e de Postma (1989), Seelig e Ahrens (1995) definiram expressões para determinação do coeficiente de reflexão em estruturas de taludes rugosos permeáveis e impermeáveis, dada por:

$$C_r = \frac{1}{12 \zeta^a \exp(rp)} \quad (17)$$

Onde:

$$rp = 2,29 \left\{ \frac{1}{\cot \zeta} \left[ \frac{D_{n50}}{L_p} \right]^{0,15} \left[ \frac{2 H_{mo}}{d_t} \right]^{1,5} \right\} + 2 P^{0,4} \left[ \frac{1}{\cot \zeta} \right]^{0,7}$$

Madsen e White (1976) ensaiaram taludes rugosos impermeáveis sem rebentação das ondas, compostos por um manto exterior rugoso aderente a um talude liso impermeável (vários tamanhos de enrocamento foram testados para a camada do manto exterior). Allsop e Channel (1989) ensaiaram taludes rugosos na ausência de rebentação, em regime de transição, testando dois valores de permeabilidade distintos. Postma (1989) incluiu vários ensaios com rebentação das ondas para vários valores de permeabilidade estrutural.

Os resultados obtidos por Ahrens et al. (1993), Ward e Ahrens (1992) e Ward (1992) serviram de informação adicional para ajudar a afinar os modelos já desenvolvidos. Os intervalos de alguns parâmetros dimensionais ensaiados pelos vários grupos de autores apresentam-se no quadro seguinte.

**QUADRO 7 – Intervalos de alguns parâmetros dimensionais ensaiados em estruturas rugosas/permeáveis (Seelig e Ahrens, 1995)**

Parâmetro	Ondas regulares	Espectro de ondas				
	Madsen e White (1976)	Allsop e Channel (1989)	Ahrens e Heimbaugh (1988)	Postma (1989)	Ward e Ahrens (1992)	Ward (1992)
$\cot \zeta$	1,5; 2,0; 2,5; 3,0	1,5; 2,0; 2,5	3; 4	1,5; 2; 3; 4; 6	1,0 inicial 3,1-4,0 final*	2; 3,5
P	0	0,35; 0,45	0,1	0,1; 0,4; 0,5; 0,6	0,6	0,1
$\bullet$	3,2-13,9	2,0-4,7	1,4-3,5	0,7-8,3	2,0-4,7	1,6-9,5
$(H)H_{mo}/d_t$	0,02-0,18	0,16-0,42	0,13-0,55	0,06-0,73	0,27-0,77	0,08-0,36
$(H)H_{mo}/D_{n50}$	0,18-4,1;#-	1,07-3,2;#-	1,0-3,9	1,3-7,1	4,6-14,4	1,0-3,5
$D_{n50}/(H)H_{mo}$	0; 0,2-5,6	0,31-0,94	0,26-0,99	0,14-0,78	0,07-0,22	0,3-1,0
$\zeta$	0,14-5,60	0,09-0,34	0,31-0,48	0,11-1,5	0,14-0,27	0,10-0,69
ll	0,003-0,021	0,06-0,33	0,09-0,28	0,02-1,0	0,25-1,70	0,03-0,32
Ns	N.A.	0,7-2,0	0,70-2,50	0,8-4,4	2,7-9,2	0,6-2,1

\*usando talude abaixo do NR.

Os coeficientes de reflexão podem ser estimados pela equação (17) no caso de estruturas rugosas impermeáveis e permeáveis, na ausência de rebentação, i.e;  $0 < P < 0,6$ ; incidência de ondas irregulares e regulares; e ondas de altura significativa até 0,77 vezes a profundidade na base da estrutura.



Nos outros casos, em que ocorre a rebentação, pode calcular-se o coeficiente de reflexão,  $C_r$ , através da equação (18).

$$C_r = 14 \exp \left[ \left( \frac{R}{C} \right) a^* \bullet^c 4 b^* \frac{H_{mo}}{d_t} \right] * f \quad (18)$$

$$f = 0,162 / 4 0,452 0,5 * P0 * \ln \left( \frac{R}{C} \frac{D_{n50}}{H_{mo}} \right) \quad (19)$$

em que  $\left( \frac{R}{C} \frac{D_{n50}}{H_{mo}} \right) > \Omega$  e  $f < \Omega$ .

A rugosidade e a permeabilidade influenciam a quantidade de energia dissipada e, por consequência, o nível de reflexão, em condições de onda em rebentação (i.e.  $\bullet < 2,5$ ). Para contemplar esta influência, é introduzido no argumento da função exponencial da equação (15), o factor de correcção da rugosidade/permeabilidade,  $f$ , dada por (19), conduzindo à equação (18).

Se o diâmetro do enrocamento iguala a altura da onda incidente, o efeito da permeabilidade torna-se desprezável, na gama de condições ensaiadas.

Para valores de  $\ln \left( \frac{R}{C} \frac{D_{n50}}{H_{mo}} \right) > 0$ , não se conhece o que sucede, por não existirem dados.

Seelig e Ahrens (1995) efectuaram uma análise detalhada dos resultados dos poucos ensaios em que a razão entre a altura de onda e a profundidade variava entre 0,4 e 0,7. Estes são ensaios de grande interesse no caso de condições de concepção extremas. Para estas condições de pequenas profundidades, nas equações (15) e (18) é recomendado alterar o

parâmetro de  $4 0,5 * \frac{H_{mo}}{d_t}$  para  $4 0,6 * \frac{H_{mo}}{d_t}$ .

As referidas equações incluem coeficientes empíricos, mas os termos apoiam-se na experiência da engenharia acústica. Assim estas podem ser aplicadas para prever com confiança os coeficientes de reflexão e dissipação da onda para uma grande variedade de condições (Seelig e Ahrens, 1995).

### 3.2.8 Formulação em função do número de Iribarren, $\bullet$ , da Permeabilidade, $P$ , e das relações $D/H_s$ , $\sqrt{\frac{D}{L_0} \cot \zeta}$ , $d_t/L_0$

Davidson et al. (1996b), com base na análise dos dados apresentados no Quadro 5, correspondentes às condições ensaiadas por Seelig e Ahrens (1981), Allsop e Channell (1989), Postma (1989) e Davidson et al. (1996) determinaram, por aplicação da análise de regressão múltipla, a relação entre o coeficiente de reflexão médio e várias variáveis adimensionais. As variáveis consideradas correspondem a parâmetros caracterizadores de fenómenos físicos específicos que na opinião dos autores condicionam a reflexão da onda. A avaliação da importância de cada variável no fenómeno da reflexão foi efectuada através da análise do coeficiente de correlação e do desvio padrão.

As variáveis definidas pelos autores como significativas para a caracterização do fenómeno da reflexão foram:

- € o número de Iribarren,  $\bullet$ , variável caracterizadora da dissipação da onda devida à rebentação;
- € o termo do diâmetro relativo,  $D/H_s$ , variável caracterizadora da transmissão da onda através e sobre a estrutura;
- € o parâmetro de rugosidade,  $\sqrt{\frac{D}{L_0} \cot \zeta}$ , variável caracterizadora da turbulência/atrito induzido pela rugosidade da estrutura;
- € o coeficiente de permeabilidade,  $P$ , variável caracterizadora da transmissão da onda através e sobre a estrutura;





€ a profundidade relativa na base da estrutura,  $dt/Lo$ , variável também importante na avaliação do fenómeno da reflexão, embora o seu significado físico seja menos claro.

A melhor previsão da reflexão da onda, obtida por análise dos dados conduziu à seguinte expressão:

$$Cr = a \log \left( 4 b \frac{D}{H_s} 4 c \log \left( \frac{D}{Lo} \cot \zeta \right) \right) \left( 4 d P 4 e \frac{dt}{Lo} \right) \left( 4 f \right) \quad (20)$$

Como se pode observar na Figura 5, Davidson *et al.* (1996b) conseguiram uma óptima correlação entre os valores medidos e estimados, correspondendo o coeficiente de correlação a 0,943 e o desvio padrão a 0,0521. Apesar disso pode-se observar um desvio sistemático para valores de  $Cr$  inferiores a 0,18. Estas discrepâncias surgem provavelmente devido a erros na técnica de análise que são sensíveis à inclinação devido ao sinal de ruído em fracas condições de reflexão (Davidson *et al.*, 1996b).

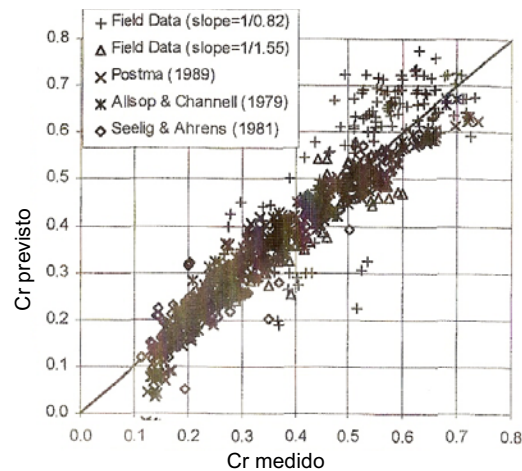


FIGURA 5 – Coeficientes de reflexão previstos e medidos com base nos dados de campo (escala real) e de laboratório (Davidson *et al.*, 1996b)

Davidson *et al.* (1996) referem que existem provavelmente vários outros parâmetros que podem ter alguma importância no processo de reflexão da onda, que não foram considerados na expressão anterior. Em particular, tal como Van der Meer (1992), referem a altura relativa da crista ( $R_c/H_s$ ), parâmetro que tem demonstrado ser um factor importante na influência da transmissão da onda. Como a característica altura da crista da estrutura acima do nível de repouso ( $R_c$ ) não estava disponível para todos os conjuntos de dados, a influência deste parâmetro não foi analisada. O efeito do galgamento e da obliquidade das ondas não foram igualmente considerados na definição da expressão (20), que limita a validade da expressão à incidência de ondas normais à estrutura e não galgáveis.

Na referida expressão, é o número de Iribarren e os parâmetros de transmissão e rugosidade que reproduzem o efeito de primeira ordem na estimativa da reflexão, restando os termos da permeabilidade e profundidade relativa com menores contribuições.

#### 4 PROGRAMA DECRAF

Esta síntese serviu de base ao desenvolvimento de um programa, intitulado DeCRAF (Determinação de Coeficientes de Reflexão com Apoio em Formulações), que visa uma aplicação operacional das várias formulações apresentadas.

O programa é de simples utilização e compreende uma descrição inicial e geral das várias formulações nele contidas, complementado com a informação considerada relevante para a aplicação da mesma, em particular os domínios de validade dos diferentes parâmetros.

O desenvolvimento deste programa permite de forma rápida e correcta, a escolha da melhor formulação a utilizar no cálculo do coeficiente de reflexão,  $Cr$ , correspondente, sem que se tenha de recorrer à bibliografia.

De seguida apresentam-se na Figura 6 a página inicial do programa e a da formulação 24.

Microsoft Excel - DeCRAF6

Arquivo Editar Ver Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

75% 75% Responder com alterações... Finalizar revisão...

M5 A B C D E F G H I J U K

### ANÁLISE DA REFLEXÃO

#### DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTES DE REFLEXÃO COM APOIO EM FORMULAÇÕES

Coefficientes a e b com base na formulação  $C_r = a + (b \cdot \xi^2)$ :

TIPO ESTRUTURA	CONDIÇÃO	AUTOR
1 praia	-	Seelig e Ahrens, 1995
2 talude liso impermeável não galgável	$2,5 \leq \xi \leq 0$	Seelig, 1983
3 talude liso impermeável não galgável	$3,0 \leq \xi \leq 6,0$	Allsop, 1990
4 talude liso impermeável não galgável	-	Sutherland e O'Donoghue, 1988b
5 talude rugoso não galgável	-	Seelig, 1983
6 talude rugoso não galgável	$3,0 \leq \xi \leq 6,0$	Allsop, 1990
7 talude impermeável (2 camadas de enrocamento)	$3,0 \leq \xi \leq 6,0$	Allsop, 1990
8 talude impermeável (2 camadas de enrocamento)	$2,7 \leq \xi \leq 7,0$	Benoit e Tesson, 1994
9 talude rugoso	$8,0 \leq \xi \leq 80,0$	Davidson <i>et al.</i> , 1994
10 talude rugoso	-	Sutherland e O'Donoghue, 1988b
11 talude rugoso	-	Sakipour <i>et al.</i> , 2004
12 talude liso submerso	$1 \leq \xi \leq 12$	Taveira-Pinto <i>et al.</i> , 1988a
13 talude liso submerso	$2,5 \leq \xi \leq 0$	Taveira-Pinto <i>et al.</i> , 1988b
14 talude de elementos - Tetrapodos e Sakit	$2,5 \leq \xi \leq 0$	Allsop e Hellatsohti, 1988
15 talude de elementos - Tetrapodos	$2,5 \leq \xi \leq 0$	Zanunighe e Van der Meer, 2006
16 talude de elementos - Sued e Diode	$3,0 \leq \xi \leq 5,5$	Allsop e Hellatsohti, 1988
17 talude de elementos - Antifer	$2,5 \leq \xi \leq 6,0$	Zanunighe e Van der Meer, 2006

Outras expressões	VARIÁVEIS E PARÂMETROS	CONDIÇÃO	AUTOR
18 talude rugoso	$\xi$	$0,5 \leq \xi \leq 13,0$	Zanunighe e Van der Meer, 2006
19 talude rugoso	P	-	Davidson <i>et al.</i> , 1990
20 talude rugoso com núcleo impermeável	$\xi$	$1,5 \leq \xi \leq 12,0$	Zanunighe e Van der Meer, 2006
21 talude liso impermeável não galgável	$\xi, a, b$	-	Sakipour <i>et al.</i> , 2004
22 talude rugoso permeável não galgável	P, a, b, $\xi$	-	Postma, 1989
23 talude liso impermeável não galgável	$\xi, II, \xi, H_{mo}, dt$	ondas sem rebencação, $\xi \leq 2,5$ ondas irregulares com rebencação, $\xi \leq 2,5$ ondas regulares, $2,5 \leq \xi \leq 4,0$	Alhrens <i>et al.</i> , 1993
24 talude rugoso	$\xi, a, D_{50}, L_0, H_{mo}, dt$	ondas sem rebencação, $\xi \leq 4,0$	Seelig e Ahrens, 1995
25 talude rugoso não galgável	$\xi, D, H_s, L_0, P, dt, a$	ondas com rebencação, $\xi \leq 2,5$	Davidson <i>et al.</i> , 1994
26 parede vertical lisa	$R_0, H_s$	ReFHs1 e para ReFHs1	Allsop, McBride e Colombo, 1994

Menu / Tipo 1 / Tipo 2 / Tipo 3 / Tipo 4 / Tipo 5 / Tipo 6 / Tipo 7 / Tipo 8 / Tipo 9 / Tipo 10 / Tipo 11 / Tipo 12 / Tipo 13 /

Desenhar Formas automáticas Formas de texto

Pronto

Iniciar

Microsoft Excel - DeCRAF6

Microsoft Excel - DeCRAF6

### Tipo 24 talude rugoso

Seelig e Ahrens, 1995

#### Variáveis e Parâmetros

$a_1$	=	1,570	coeficiente empírico
$a_2$	=	-0,06	coeficiente empírico
$a_3$	=	4,00	coeficiente empírico
$b_1$	=	0,50	coeficiente empírico
$b_2$	=	2,50	coeficiente empírico
$c_1$	=	2,40	coeficiente empírico
$c_2$	=	1,50	coeficiente empírico
H (m)	=	2,00	altura da onda incidente
$T_p$ (s)	=	10,00	período de pico da onda incidente
$\alpha$ (°)	=	20,00	ângulo de inclinação do talude
tano	=	0,36	declive do talude
$\lambda$	=	0,18	coeficiente dimensional de largura da estrutura
$d_r$ (m)	=	10,00	profundidade na base da estrutura
cota	=	2,75	cota tangente do ângulo de inclinação do talude da estrutura
$L_r$ (m)	=	158,13	comprimento de onda local na base da estrutura correspondente ao período de pico ou período da onda no caso de ondas regulares
tp	=	2,69	parâmetro rugosidade/permeabilidade na ausência de rebencação
$D_{50}$ (m)	=	1,00	diâmetro nominal do enrocamento do talude
P	=	0,4	coeficiente de permeabilidade
f	=	0,33	fator de correção
g (m/s <sup>2</sup> )	=	9,81	aceleração devida à gravidade

#### Equações

$$\lambda = d_{cota}/L_r$$

$$L_r = gT_p^2/2\pi$$

$$rp = 2,23(cota)^{0,1}(D_{50}/L_r)^{0,4}((H/H_d)^{0,5}P^{0,4})^{cota^{0,7}}$$

$$f = 0,16 + (-0,45 - 0,5P^2)^{0,1}(D_{50}/H)$$

$$\xi = \tan(\alpha)/(2\pi H/gT_p^2)^{0,5}$$

eq1  $C_r = 1/(1 + \xi \cdot \exp(rp))$  ondas sem rebencação,  $\xi \leq 4,0$   
 eq2  $C_r = 1 - \exp(\xi^2 - b \cdot (H_r/H_d)^{0,7})$  ondas com rebencação,  $\xi \leq 2,5$   
 eq3  $C_r = (a - \xi/b)C_{r,1} + (\xi/b)C_{r,2}$  caso intermédio  $2,5 \leq \xi \leq 4,0$

#### Resultados

$\xi$	=	3,22	parâmetro de Itbarren
Expressão considerada:	eq3		
$C_r$	=	0,59	coeficiente de reflexão

FIGURA 6 – Apresentação do programa DeCRAF.



## **5 CONCLUSÕES**

Uma das principais aplicações dos coeficientes de reflexão em hidráulica marítima, está associada ao recurso a modelos numéricos de propagação da agitação, que constituem hoje uma ferramenta fundamental para a modelação e previsão dos fenómenos físicos relevantes na zona costeira. Estes têm como vantagens a rapidez de aplicação e a flexibilidade. Todavia, a sua utilização ainda apresenta limitações, nomeadamente nas aproximações e simplificações das equações de base e na definição dos parâmetros necessários para a caracterização das estruturas e respectivas condições de fronteira associadas, sendo especialmente sensíveis aos valores do coeficiente de reflexão de cada fronteira e que se introduzem como dados.

Esta síntese serviu de base ao desenvolvimento de um programa DeCRAF, que visa uma aplicação operacional das várias formulações apresentadas. Este programa será especialmente importante no apoio à utilização de modelos numéricos de propagação da agitação, que constituem hoje uma ferramenta fundamental para a modelação e previsão dos fenómenos físicos relevantes na zona costeira.

## **REFERÊNCIAS**

Ahrens, J. P., e Titus, M. F. (1981). "Lab Data Report: Irregular Wave Runup on Plane, Smooth Slopes", unpublished CERC laboratory report.

Ahrens, J. P., Seelig, W. N., Ward, D. L. E Allsop, W. (1993). "Wave Runup on and Wave Reflection from Coastal Structures" ASCE, Proceedings, Waves'93, pp.489-502.

Allsop, N.W.H., e Channel, A. R. (1989), "Wave Reflections in Harbours" Report OD 102, Hydraulics Research, Wallingford.

Allsop, N.W.H. e S.S.L. Hettiarachchi (1989). "Wave Reflections in Harbours; the Design, Construction and Performance of Wave Absorbing Structures." Report OD 89, Hydraulics Research, Wallingford.

Allsop, N. W., McBride, M. W., e Colombo, D. (1994). "The Reflection Performance of Vertical Walls and Low Reflection Alternatives: Results of Wave Flume Tests",. Proceedings of the 3rd MCS Project Workshop, MAS2-CT92-0047, Monolithic (Vertical) Coastal Structures, De Voorst, The Netherlands.

Battjes, J.A. (1974). "Computation of Set-Up, Longshore Currents, Run-Up and Overtopping Due to Wind-Generated Waves". Dissertação de Doutoramento submetida à Universidade de Tecnologia de Delft (Report nº 74-2). Holanda.

CEM (2005). "Coastal Engineering Manual." Department of the Army, USACE, Washington, DC. Versão provisória disponível na "world wide web" (WWW). Part II - Harbour Hydrodynamics (version draft), pp. [II-7-31]-[II-7-42] e Part VI - Fundamental of Design (version draft), pp. [VI-5-33]-[VI-5-44].

Construction Industry Research and Information Association (Ciria), Special Publication. (1991). "Manual on the Use of Rock in Coastal and Shoreline Engineering." Centre for Civil Engineering Research and Codes, CUR Report 154.

Davidson, M.A., Bird, P.A. D., Bullock, G. N., e Huntley, D. A. (1996). "A new non-dimensional number for the analysis of wave reflection from rubble mound breakwaters." Coastal Engineering, 28 pp93-120.

Davidson, M.A., Bird, P.A. D., Bullock, G. N., e Huntly, D. A. (1996b). "Prediction of Wave Reflection from Rock Structures: An Integration of Field and Laboratory Data." Proc., 25th Int. Conf. Coast. Engrg., ASCE, pp. 2077-2086.

Goda, Y. (1983). "A Unified Nonlinearity Parameter of Water Waves, Rept. Port and Harbour Res. Inst., Vol. 22, Nº.3 pp3-30.

Goda, Y. (1985). "Random Seas and the Design of Maritime Structures". University of Tokyo Press.

Madsen, O. S. e White, S. M. (1976). "Reflection and Transmission Characteristics of Porous Rubble-Mound Breakwaters", U.S. Army COE, CERC, MR 76-5.



## 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

- Mansard, E. P. D. e Funke, E. R. (1980). "The measurement of Incident and Reflected Spectral Using a Least Squares Method, Proc. 17<sup>th</sup> Coastal Eng. Conf., Sydney, Australia, 154-172.
- Miche, R. (1951). "Le pouvoir réfléchissant des ouvrages maritimes exposés à l'action de la houle". Annales des ponts et chaussées, ano 121, n°3, pp285-319, B.LNEC 47412.
- Pilarczyk, K. e Zeidler, R. (1996). "Offshore Breakwaters and Shore Evolution Control." A.A.Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- Postma, G. M. (1989). "Wave Reflection from Rock Slopes Under Random Wave Attack", Dissertação de Mestrado submetida à Universidade de Tecnologia de Delft, Departamento C.E. Holanda.
- Salehipour, A., Vafaie F., e Aghtouman P. (2004). "Investigation of Structure's Slope Effect on Irregular Wave Reflection from Rubble-Mound Reshaping Seawalls" Proc., 29<sup>th</sup> Coast. Engrg. Conf., ASCE, pp. 3568-3578.
- Seelig, W. N. e Ahrens, J. P. (1981). "Estimation of Wave Reflection and Energy Dissipation for Beaches, Revetments and Breakwaters." U.S. Army, COE CERC, Fort Belvoir, Va., Feb.
- Seelig, W. N. (1983). "Wave Reflection from Coastal Structures." Proc. Conference of Coastal Structures, ASCE, Arlington, pp.961-973.
- Seelig, W. N. e Ahrens, J. P. (1995). "Wave Reflection and Energy Dissipation by Coastal Structures." Wave Forces on Inclined and vertical Wall Structures, ASCE, pp. 28-51.
- Sutherland, J. e O'Donoghue, T. (1998b). "Characteristics of Wave Reflection Spectra." ASCE, J. Wtrwy., Port, Coast., and Oc. Engrg. 124(6), pp. 303-311.
- Taveira-Pinto, F., Proença, M. F. e Veloso-Gomes, F. (1998). "Energy Dissipation Study of Submerged Breakwaters using Velocity Measurements." Proc. Of he Ninth International Symposium on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics, Lisbon, Portugal.
- Taveira-Pinto, F., Proença, M. F. e Veloso-Gomes, F. (1999a). "Experimental Analysis of Reflected Energy from Submerged Breakwaters." Proc. Of 99 – Coastal Structures, ASCE, Santander, Espanha.
- Taveira-Pinto, F., Proença, M. F. e Veloso-Gomes, F. (1999b). "Análise Experimental do Comportamento de Quebramares Submersos". 1<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária.
- Thompson, E F, H S Chen e LL Hadley (1996). "Validation of Numerical Model for Wind Waves and Swell in Harbours " Journal of Waterway, Port Coastal and Ocean Engineering, 122,5. pp245-257.
- Van der Meer, J. W. (1988). "Rock Slopes and Gravel Beaches under Wave Attack". Dissertação de Doutoramento submetida à Universidade de Tecnologia de Delft (Comunicação No. 396). Holanda.
- Van der Meer, J. W. (1992). "Conceptual design of rubble mound breakwaters. Proc. of a short course on the design and reliability of castal structures". 23rd Conf. Coastal Eng. Venice pp447-510.
- Ward, D. L. (1992). "Prediction of Overtopping Rates for Irregular Waves on Riprap Revetments" U.S. Army COE, T.R. CERC-92-4.
- Ward, D. L. e Ahrens, J. P. (1992). "Laboratory Study of a Dynamic Berm Revetment", U.S. Army COE, T.R. CERC-92-1.
- Zanuttigh, B., e Van der Meer, J. W. (2006). "Wave Reflection from Coastal Structures." Abstract 554, ICCE.

### SIMBOLOGIA

Símbolo	Descrição
a	coeficiente empírico
b	coeficiente empírico





## 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

c	coeficiente empírico
Cr	coeficiente de reflexão
d	coeficiente empírico
D	diâmetro característico do enrocamento do talude
D <sub>n50</sub>	diâmetro nominal do enrocamento do talude
D <sub>n15</sub>	diâmetro nominal do enrocamento do talude correspondente ao percentil 15
D <sub>n85</sub>	diâmetro nominal do enrocamento do talude correspondente ao percentil 85
d <sub>t</sub>	profundidade na base da estrutura
e	coeficiente empírico
Ei	energia da onda incidente
Er	energia reflectida
f	frequência da onda; coeficiente empírico
f <sub>n</sub>	frequência local
f <sub>p</sub>	frequência de pico da onda
g	aceleração da gravidade
h	profundidade
he	altura da estrutura
H, H <sub>s</sub>	altura da onda significativa
H <sub>b</sub>	altura da onda na rebentação
H <sub>i</sub>	altura da onda incidente
H <sub>mo</sub>	altura da onda significativa incidente na base da estrutura
H <sub>r</sub>	altura da onda reflectida
II	parâmetro não linear da onda (Goda, 1983)
L	comprimento de onda
L <sub>A</sub>	comprimento de onda local na base da estrutura (pela teoria de Airy)
L <sub>m</sub>	comprimento de onda local na base da estrutura relativo ao período médio de densidade espectral
L <sub>o</sub>	comprimento de onda ao largo
L <sub>p</sub>	comprimento de onda local na base da estrutura relativo ao período de pico de densidade espectral
m	declive do talude do obstáculo
N	número de ondas incidentes
N <sub>s</sub>	número de estabilidade estrutural
p	coeficiente empírico
P	coeficiente de permeabilidade
PR	parâmetro de rugosidade
R	número de reflexão adimensional de Davidson <i>et al.</i> (1996)
R <sub>c</sub>	altura do coroamento da estrutura acima do nível de repouso
rp	parâmetro rugosidade/permeabilidade na ausência de rebentação
s	declividade da onda
s <sub>m</sub>	declividade da onda determinada com base no período médio da onda
s <sub>p</sub>	declividade da onda determinada com base no período de pico.
T	período da onda, parâmetro de transmissão da onda
T <sub>m</sub>	período médio da onda
T <sub>p</sub>	período de pico da onda
W <sub>50</sub>	peso médio do enrocamento
X	comprimento na horizontal do talude submerso
ζ	ângulo do declive do talude da estrutura com a horizontal
ζ#	largura da estrutura adimensionalizada (dt.cotζ/L <sub>p</sub> )
ψ <sub>a</sub>	densidade do enrocamento
•	parâmetro adimensional de Iribarren ou “surf similarity parameter”
• <sub>f</sub>	parâmetro adimensional de Iribarren dependente da frequência local
• <sub>m</sub>	parâmetro adimensional de Iribarren, com base no período médio da onda
• <sub>p</sub>	parâmetro adimensional de Iribarren, com base no período de pico
• <sub>rms</sub>	parâmetro adimensional de Iribarren, com base na altura média quadrática