

CONTRIBUIÇÃO PARA A DEFINIÇÃO DE REGIMES DE AGITAÇÃO MARÍTIMA NAS IMEDIAÇÕES DA NAZARÉ

Rui Capitão, Conceição Fortes

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente
Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa
rcapitao@lnec.pt, jfortes@lnec.pt

RESUMO

Nesta comunicação descrevem-se os estudos de caracterização dos regimes de agitação marítima obtidos na zona marítima da Nazaré, mais concretamente em dois pontos localizados em frente à enseada da praia da Nazaré. Para cada ponto, são apresentados dois tipos de regimes de agitação marítima - o regime geral observado e o regime de extremos. Estes regimes foram obtidos com base em observações (registos tri-horários da altura significativa, HS, do período médio de zero ascendente, TZ, e da direcção média, Θ) colhidas pela bóia-ondógrafo da Figueira da Foz, que foram transferidas para os pontos referidos, mediante a utilização da metodologia TRANSFER, Coli *et al.* (2002).

Para além da apresentação dos regimes observado e de extremos obtidos nos dois pontos da enseada da Nazaré, são discutidas nesta comunicação as diferenças dos regimes encontradas nesses pontos e as limitações quer das amostras seleccionadas quer dos modelos numéricos envolvidos nas transferências dos dados de agitação marítima.

1. INTRODUÇÃO

A zona em estudo situa-se na costa ocidental Portuguesa, a sul da Figueira da Foz e a norte de Peniche, ver Figura 1.

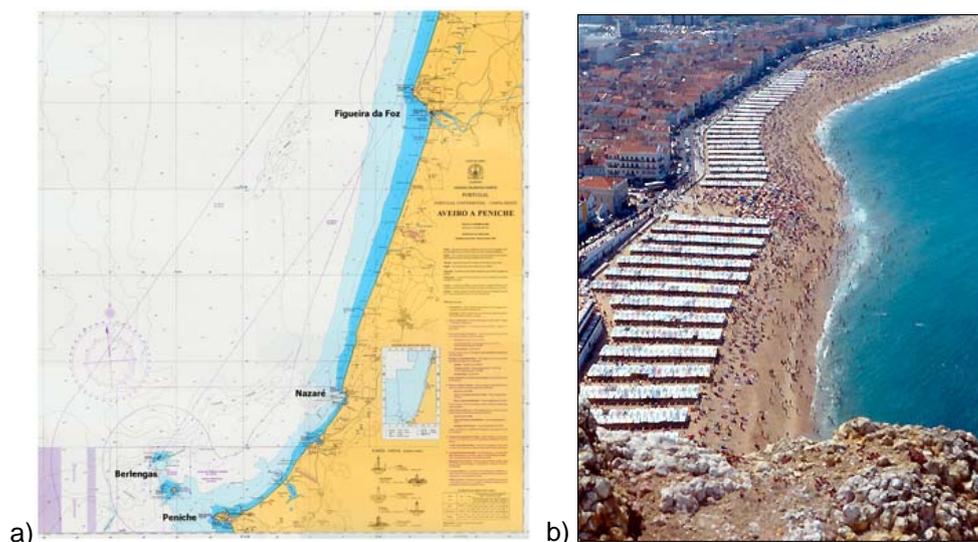


Figura 1 – Localização da área em estudo. a) Costa ocidental entre Peniche e Figueira da Foz. b) Vista geral da praia da Nazaré a partir do “Sítio”

Trata-se de uma zona caracterizada por uma batimetria bastante irregular, onde se destaca o canhão da Nazaré, com grande extensão e profundidades da ordem de 800 m (ZH), ver Figura 1. Estas irregularidades na batimetria induzem alterações significativas nas características da onda à que medida que esta se propaga. Por conseguinte, a modelação numérica da propagação de onda nesta zona é bastante complexa quer devido à complexidade dos fenómenos que influenciam a propagação da onda quer devido à grande extensão que é necessário modelar.

Com o objectivo de estudar a estabilidade de um conjunto de módulos cúbicos recifais a colocar em profundidades entre 20 m e 30 m (ZH) na enseada da Nazaré, e, ainda, proceder à avaliação da evolução dos fundos na vizinhança do local de colocação desses módulos, tornou-se necessário realizar estudos de caracterização da agitação marítima no local, Capitão *et al.* (2005).

Porém, na Nazaré, e nas suas imediações, os dados de agitação marítima existentes, pela escassa quantidade e qualidade, não permitem a determinação com confiança de regimes de agitação locais.

Recorreu-se então à metodologia TRANSFER, Coli *et al.* (2002) para a caracterização da agitação marítima neste local. Esta metodologia consiste na utilização de dados medidos em outro local não muito distante do local de interesse, onde haja dados suficientes que permitam obter um regime de agitação válido, e na transferência, através de modelos de propagação de ondas e de interpolação, desses dados (ou de regimes construídos com base nesses dados) para o local de interesse. A metodologia TRANSFER, Coli *et al.* (2002), está implementada num pacote de programas de mesmo nome e inclui os modelos numéricos de refração de onda BACKTRACK e REFSPEC, Covas e Pontes (1988), e o programa interpolação INTERPOL, Capitão *et al.* (1994).

Para o presente caso de estudo, recorre-se a dados de agitação marítima (altura significativa, HS, período médio, TZ, e direcção média, Θ) registados de 3 em 3 horas durante cerca de 12 anos (de Julho de 1984 a Fevereiro de 1996) numa bóia-ondógrafo localizada na Figueira da Foz, Figura 1a). Mediante aplicação da metodologia TRANSFER, Coli *et al.* (2002), estes dados são então transferidos para o largo e posteriormente para a zona em frente à enseada da praia da Nazaré, e mais concretamente, para os dois pontos P1 e P2, ver Figura 2. Finalmente, para esse local, determina-se o regime de agitação marítima pretendido. Nestas transferências, assume-se que os regimes ao largo da Figueira da Foz e da Nazaré são idênticos.

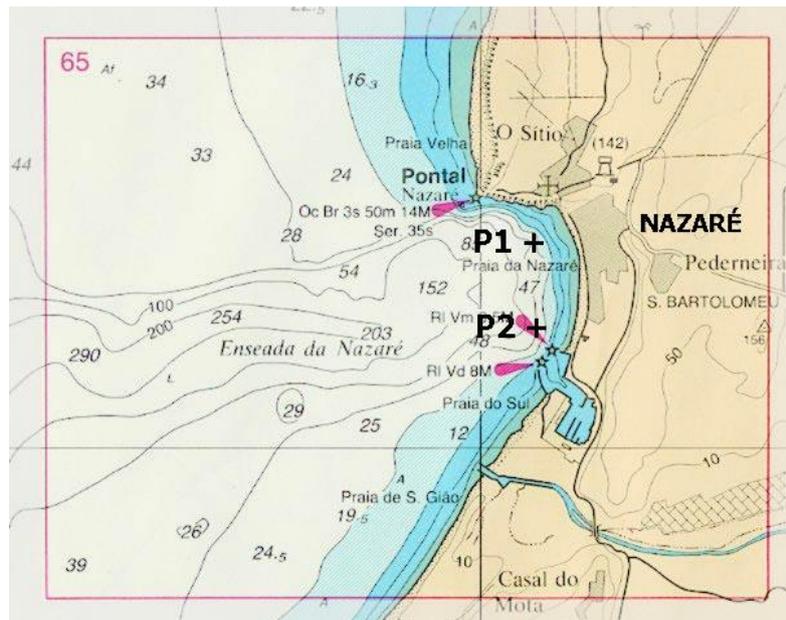


Figura 2 - Batimetria da zona adjacente à praia do Nazaré. Pontos de transferência P1 e P2.

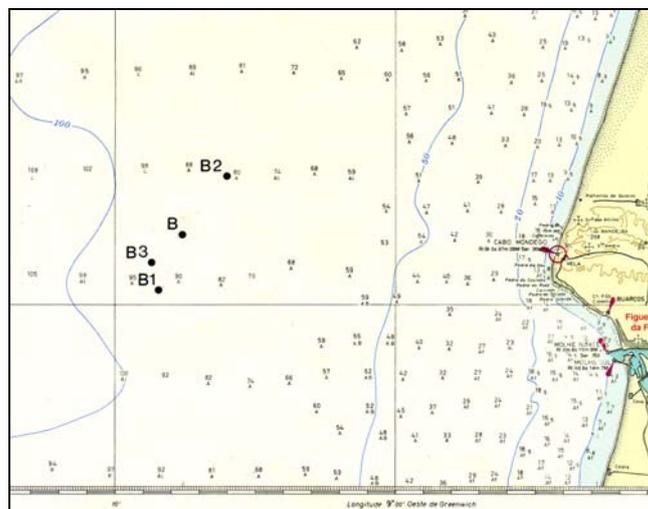
Neste trabalho são apresentados dois tipos de regimes de agitação marítima - o regime geral observado e o regime de extremos - nos dois pontos localizados em frente à enseada da praia da Nazaré. O regime geral observado é construído a partir de todos os dados de agitação marítima disponíveis. O regime de extremos é definido por duas vias: a) construindo as amostras de extremos considerando todos os dados observados independentemente da direcção donde provém a agitação e b) construindo as amostras de extremos consoante os sectores de direcção.

Para além da apresentação dos regimes observado e de extremos obtidos nos dois pontos da enseada da Nazaré, são discutidas nesta comunicação as diferenças dos regimes encontradas entre nesses pontos e as limitações quer das amostras seleccionadas quer dos modelos matemáticos envolvidos na transferência dos dados de agitação marítima.

Nas próximas secções, apresenta-se o regime observado transferido para o largo da Nazaré, utilizando o modelo TRANSFER, e os regimes observado e de extremos nos dois pontos P1 e P2 da enseada da Nazaré, igualmente utilizando a metodologia TRANSFER. Os resultados são apresentados e discutidos.

2. REGIME DE AGITAÇÃO AO LARGO

Dado que não estão disponíveis dados medidos de agitação marítima na Nazaré ou nas suas imediações, optou-se por definir o regime de agitação ao largo da Nazaré com base em dados observados na Figueira da Foz (local cerca de 70 km a Norte da Nazaré) durante o período de Julho de 1984 a Fevereiro de 1996, ver Figura 3, depois de devidamente transferidos utilizando a metodologia de transferência de dados e regimes de agitação marítima designada por TRANSFER, Coli *et al.* (2002).



© Copyright Marinha, Instituto Hidrográfico, 1985

Figura 3 – Figueira da Foz. Ponto origem dos leques de refacção usado nos estudos de agitação marítima na zona marítima adjacente à Figueira da Foz

A transferência dos dados da Figueira da Foz para o largo foi efectuada a partir da posição média ponderada da bóia-ondógrafo, designada por B na Figura 3, de coordenadas 42° 12' 30" N; 9° 07' 36" W e profundidade -89 m (ZH).

Após a digitalização da batimetria da região da Figueira da Foz, foram efectuados cálculos de refacção de ondas irregulares com os modelos BACKTRACK e REFSPEC. Para tal, considerou-se o espectro de JONSWAP para períodos de pico entre 4 e 26 s e uma função de distribuição direccional do tipo potência par (2s) da função coseno, tomando a direcção média do espectro ao largo valores entre 190° e 350°. Estes valores de período e direcção



4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

Designação	Localização		Prof. (m)
	Latitude (N)	Longitude (W)	
Ponto 1 (P1)	39° 35' 59.2"	9° 04' 34.4"	30
Ponto 2 (P2)	39° 35' 43.0"	9° 04' 34.4"	30

Quadro 1 - Localização e caracterização dos pontos de transferência na zona marítima da praia da Nazaré.

Para a caracterização dos regimes de agitação marítima (geral observado e extremos) nos pontos P1 e P2, a metodologia adoptada foi a seguinte:

- Transposição do regime geral observado do largo para os dois pontos (P1 e P2) na frente da praia da Nazaré, através da utilização da metodologia TRANSFER;
- Definição dos regimes gerais observados nesses pontos;
- Cálculo das características do regime de extremos da agitação marítima nesses pontos com base nos regimes observados obtidos anteriormente

Para cada um dos pontos já referidos (Quadro 1), foram efectuados cálculos de refacção de ondas irregulares com as seguintes condições:

- Espectro empírico de JONSWAP com períodos de pico $TPo = 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20$ e 22 segundos;
- Função de distribuição direccional do tipo potência par (2s) função coseno, tomando a direcção média do espectro ao largo (que coincide com a direcção espectral de pico ao largo) os valores entre 180° e 330° , para ambos os pontos. O intervalo entre valores é de 10° . O parâmetro s toma o valor 10 .
- Nível de maré igual a $+2.0$ m.

Notar que o modelo utilizado, TRANSFER, embora propague a agitação irregular de ondas através de espectros direccionais, tem em consideração unicamente o fenómeno da refacção devido à configuração do fundo, não considerando outros efeitos lineares (difracção) e não lineares (dissipação de energia). Face à batimetria existente nesta zona, que é bastante complexa devido à presença do canhão da Nazaré, a não consideração do fenómeno da difracção por parte do modelo pode influenciar os resultados. Assim, de modo a diminuir essa influência, houve que limitar os valores a transferir a direcções ao largo inferiores a 330° e períodos de pico ao largo inferiores a 22 s, visto que acima destes valores o modelo de refacção utilizado deixa de ser válido (ou aplicável) para este caso.

3.2 Regimes gerais observados em P1 e P2

Na Figura 5, a seguir, apresenta-se o histograma (HS, Θ) correspondente ao regime geral observado em P1, transferido do largo da Nazaré utilizando a metodologia TRANSFER. Na Figura 6 apresenta-se a relação entre $TZ = f(\Theta)$.

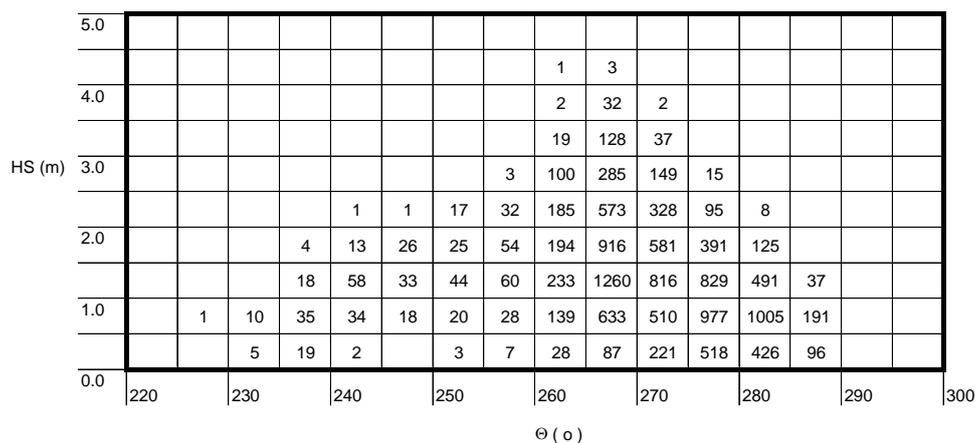


Figura 5 – Praia da Nazaré. Histograma (HS, Θ) do regime geral observado no ponto P1

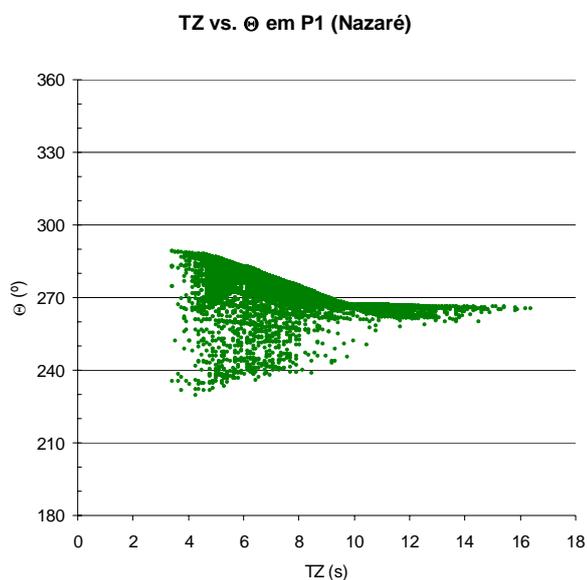


Figura 6 – Praia da Nazaré. Relação $TZ = f(\Theta)$ do regime geral observado no ponto P1

De igual modo, na Figura 7, a seguir, apresenta-se o histograma (HS, Θ) correspondente ao regime geral observado em P2, transferido do largo da Nazaré utilizando a metodologia TRANSFER. Na Figura 8 apresenta-se a relação entre $TZ = f(\Theta)$.



4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

ocorrências. As direcções mais frequentes (260° e 285°) estão normalmente associadas a alturas de onda entre 0.0 e 2.5 m e períodos entre 4 s e 11 s;

- Quanto às alturas de onda, observou-se uma diminuição das alturas significativas. Os valores de HS variam entre 0 e 4.5 m. As alturas significativas de onda mais frequentes encontram-se na gama entre 0 e 3.0 m, sendo no intervalo de 1.0 a 1.5 m que se verificou o maior número de ocorrências;
- Os valores de TZ variam entre 3 e 17 s, sendo os mais frequentes os do intervalo de 4 a 11 s. O intervalo de 6 a 7 s é onde se verifica o maior número de ocorrências.

No ponto P2:

- Na passagem do largo para o ponto P2, verificou-se também uma redução significativa do leque de direcções espectrais ao largo. Com efeito, as direcções espectrais médias ao largo que se encontravam compreendidas entre 195° a 355° passam a estar compreendidas essencialmente entre 235° e 320°. Efectivamente, o ponto P2 encontra-se abrigado de direcções superiores a 320°. As direcções mais frequentes pertencem aos sectores compreendidos entre 270° e 310°. Na gama de direcções entre 280° e 285°, verificou-se o maior número de ocorrências. As direcções mais frequentes (270° a 310°) estão normalmente associadas a alturas de onda entre 0.5 e 3.0 m e períodos entre 4 e 11 s;
- Quanto às alturas de onda, observou-se uma diminuição das alturas significativas. Os valores de HS variam entre 0 e 4.5 m. As alturas significativas de onda mais frequentes encontram-se na gama entre 0.5 e 3.0 m, sendo no intervalo de 1.0 a 1.5 m que se verificou o maior número de ocorrências;
- Os valores de TZ variam entre 3 e 17 s, sendo os mais frequentes os do intervalo de 4 a 11 s. O intervalo de 6 a 7 s é onde se verifica o maior número de ocorrências.

Assim, é de referir que a diferença dos regimes entre os dois pontos é pouco significativa. Pode-se apenas notar que o regime em P2 apresenta alturas ligeiramente mais elevadas que o de P1 e que a gama de direcções em P2 (235° a 320°) é mais extensa que em P1 (225° e 290°).

3.3 Regimes de extremos em P1 e P2

3.3.1 Estabelecimento das amostras de extremos

A partir dos conjuntos de valores tri-horários (HS, TZ e Θ) referentes ao regime observado transferido para os pontos P1 e P2, extraíram-se os máximos de HS por Inverno marítimo¹, da totalidade dos dados e por sector de direcções. Desta forma, os máximos de HS seleccionados podem ser considerados independentes nos diversos sectores de direcções considerados. Assim, potencialmente, os invernos marítimos disponíveis para os dois pontos são os 12 anos de 1984-85 a 1995-96, Quadro 2.

¹ Designa-se por Verão Marítimo o período compreendido entre Abril (inclusive) e Setembro (inclusive) de um ano civil. Designa-se por Inverno Marítimo o período compreendido entre Outubro (inclusive) de um ano civil e Março (inclusive) do ano civil seguinte.



4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

Meses com dados por Anos Marítimos				Inverno Marítimo								
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
84-85												
85-86												
86-87												
87-88												
88-89												
89-90												
90-91												
91-92												
92-93												
93-94												
94-95												
95-96												

Mês razoavelmente completo
 Mês muito incompleto
 Mês sem dados

Quadro 2 - Meses com dados (transferidos da Figueira da Foz)

Neste trabalho, optou-se por estimar o regime de extremos por duas vias: a) construindo as amostras de extremos não considerando a direcção donde provém a agitação (isto é, considerando todos os dados observados) e b) construindo as amostras de extremos por sectores de direcção. Nesta última situação, e de acordo com os regimes obtidos em P1 e P2, foram considerados 4 sectores de direcções com abertura de 30°, varrendo de Sul a Norte, ou seja, os sectores de 210°-240° (para P1 apenas), 240°-270° (para P1 e P2), 270°-300° (para P1 e P2) e 300°-330° (para P2 apenas). Para cada HS máximo (relativo a cada Inverno marítimo, se existir), em cada sector, foram anotados os correspondentes valores de TZ e Θ .

3.3.2 Regime de extremos total e por sectores de direcções em P1

De acordo com os regimes obtidos em P1, construíram-se as amostras indicadas no Quadro 3 que permitem a extrapolação do regime de extremos nesse ponto para os sectores de direcções considerados (colunas de título "210-240", "240-270" e "270-300") e para a totalidade das direcções (título "Total").

Ano marítimo	HS (m) em P1, por sector			
	210-240	240-270	270-300	Total
84-85		3.64	2.94	3.64
85-86		3.09	2.85	3.09
86-87		4.34	2.96	4.34
87-88		3.61	3.47	3.61
88-89		3.93	3.49	3.93
89-90		3.39	3.43	3.43
90-91	1.28	3.67	3.35	3.67
91-92	1.64	4.01	2.89	4.01
92-93	1.19	3.91	3.15	3.91
93-94		3.23	3.43	3.43
94-95	1.15	3.86	3.61	3.86
95-96	1.68	3.70	3.20	3.70
<i>u</i>	<i>1.20</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>

u - intervalo médio entre observações

Quadro 3 - Amostras de máximos anuais (Invernos marítimos) de HS (m) seleccionadas para o ponto P1

Apesar de haver dados em P1 referentes ao sector 210°-240°, eles correspondem apenas a 5 invernos marítimos (bastante incompletos) ao longo de 6 anos consecutivos. Assim, esta amostra tem apenas 5 valores com um intervalo médio entre observações, *u* (última linha do Quadro 3), considerado para efeitos de extrapolação por distribuição assintótica de



4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

extremos, de $6/5=1.20$. Dada a exiguidade desta amostra, e apesar de se realizarem cálculos para este sector, é de salientar a fraca qualidade das estimativas realizadas com base nela.

Para os sectores 240° - 270° e 270° - 300° , assim como para a totalidade das direcções (coluna "Total" do Quadro 3) existem 12 valores referentes a 12 anos, pelo que o intervalo médio entre observações considerado foi, em todos eles, $u = 12/12 = 1.00$. O sector 300° - 330° não contém qualquer observação pelo que não é sequer considerado no quadro.

Estas amostras a que se chegou, a partir das quais se fizeram as extrapolações de extremos anuais, para vários períodos de retorno, suscitam desde já os seguintes comentários:

- Todas elas provêm de dados (observados na Figueira da Foz) com muitas lacunas, o que significa que podem não conter os efectivos máximos de HS que ocorreram nos diversos Invernos marítimos;
- Durante os anos de registo, houve alguma variabilidade na posição da bóia-ondógrafo;
- A maior amostra tem apenas o tamanho 12, o que não é suficiente para permitir extrapolações seguras, como se tem explicado em trabalhos anteriores, especialmente em Carvalho e Capitão (1994), e Copeiro (1978);
- A amostra referente ao sector 210° - 240° , de tamanho 5, é tão pequena que se hesitou quanto ao seu aproveitamento. Para além disso, esta amostra não se refere a anos seguidos; há a lacuna do ano 93-94. Esta dificuldade foi ultrapassada com o expediente de se considerarem, de modo aproximado, os valores existentes igualmente espaçados no tempo com um intervalo calculado de forma algo artificial, mas que normalmente se usa nestes casos. Apesar disso, como se disse acima, decidiu-se usá-la, com as maiores reservas. Por estas razões, todas as extrapolações realizadas na secção seguinte com base nesta amostra devem ser encaradas com as maiores reservas.

Feitos os cálculos de ajustamento das 4 amostras de HS máximo às distribuições de Gumbel e Fréchet, obtiveram-se os resultados numéricos apresentados no Quadro 4. Em seguida, aplicou-se o método do parâmetro combinado (Carvalho, 1992) para escolher quais as distribuições mais adequadas. O Quadro 4 mostra os valores obtidos para o parâmetro combinado, c .

Estes cálculos e extrapolações produziram o regime de extremos da agitação marítima indicado no Quadro 4 para os 5 valores de período de retorno, $T = 1, 5, 10, 25$ e 50 anos. Os valores indicados nas colunas 4 e 5 são alturas de onda significativa, em metros, N é o tamanho da amostra considerada e u é o intervalo entre observações. A sombreado, aparecem os valores correspondentes às distribuições escolhidas, de acordo com os critério do parâmetro combinado.

Conclui-se que, para os sectores 240° - 270° , 270° - 300° e 300° - 330° é mais adequada a distribuição de Gumbel e somente para o sector 210° - 240° é a distribuição de Fréchet a mais apropriada. Recordem-se, porém, as reservas feitas à qualidade da amostra deste sector.

Para tentar obter uma relação razoável entre TZ e HS que permitisse associar valores de TZ a valores extrapolados de HS no ponto P1, fez-se uma regressão linear entre os valores de TZ e HS máximos mensais disponíveis neste ponto. O resultado está apresentado na Figura 9, donde se conclui que a relação entre TZ e HS é pouco definida, como mostra o valor do coeficiente de determinação, $R^2 = 0.29$. No entanto, pode dizer-se que há uma tendência para o aumento dos períodos com as alturas.

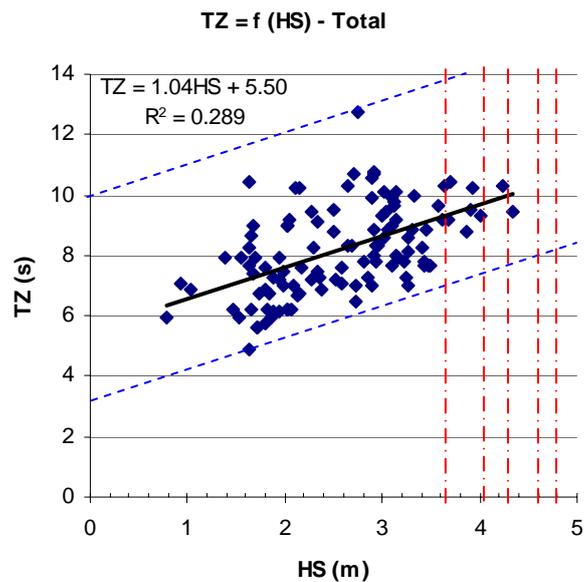


Figura 9 – Relação $TZ = f(HS)$ com base nos máximos mensais de HS em P1

Uma vez que os resultados da correlação entre HS e TZ são pouco satisfatórios, não foi possível associar períodos às alturas extrapoladas. Assim decidiu-se associar gamas de períodos. O limite inferior dessa gama fica um pouco abaixo do que a indicada pela faixa delimitada pelas linhas a traço interrompido da Figura 9, para os valores extrapolados (ver linhas verticais a traço-ponto interrompido na mesma Figura 9). O limite superior é o considerado razoável para ondas de vento, que, neste estudo, é dado pelos máximos de TZ observados em P1. Note-se que, devido a limitações de resolução espectral, não se consideram, nos cálculos de refração apresentados na secção seguinte, estados de mar com valores de período de pico maiores do que 20 s, admitindo-se contudo ondas regulares com períodos que podem exceder os 25 s.



4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

Sector (°)	N u (ano)	T (ano)	HS em P1 (m)	
			Gumbel	Fréchet
210-240	N = 5 u = 1.20	1	1.27	1.26
		5	1.64	1.64
		10	1.88	1.93
		25	2.17	2.38
		50	2.38	2.77
coeficiente de correlação, <i>r</i>			0.940	0.943
estatística K-S, <i>d</i>			0.558	0.533
erro padrão das estimativas, <i>e</i>			0.271	0.264
parâmetro combinado, $c = d/d_{max} + e/e_{max}$			2.000	1.929
Sector (°)	N u (ano)	T (ano)	HS em P1 (m)	
			Gumbel	Fréchet
240-270	N = 12 u = 1.00	1	3.64	3.62
		5	4.05	4.05
		10	4.31	4.36
		25	4.64	4.78
		50	4.88	5.11
coeficiente de correlação, <i>r</i>			0.969	0.958
estatística K-S, <i>d</i>			0.726	0.761
erro padrão das estimativas, <i>e</i>			0.244	0.281
parâmetro combinado, $c = d/d_{max} + e/e_{max}$			1.822	2.000
Sector (°)	N u (ano)	T (ano)	HS em P1 (m)	
			Gumbel	Fréchet
270-300	N = 12 u = 1.00	1	3.19	3.17
		5	3.50	3.51
		10	3.71	3.74
		25	3.97	4.06
		50	4.16	4.32
coeficiente de correlação, <i>r</i>			0.946	0.940
estatística K-S, <i>d</i>			0.598	0.619
erro padrão das estimativas, <i>e</i>			0.319	0.336
parâmetro combinado, $c = d/d_{max} + e/e_{max}$			1.915	2.000
Sector (°)	N u (ano)	T (ano)	HS em P1 (m)	
			Gumbel	Fréchet
Total	N = 12 u = 1.00	1	3.66	3.65
		5	4.04	4.05
		10	4.29	4.33
		25	4.59	4.71
		50	4.82	5.02
coeficiente de correlação, <i>r</i>			0.969	0.958
estatística K-S, <i>d</i>			0.624	0.676
erro padrão das estimativas, <i>e</i>			0.244	0.283
parâmetro combinado, $c = d/d_{max} + e/e_{max}$			1.785	2.000

Quadro 4 - Determinação da distribuição de extremos mais adequada e respectivos valores extrapolados e de adaptabilidade em P1

Neste Quadro 5 apresentam-se também as gamas de direcções a associar às alturas extrapoladas, determinadas com base nos valores obtidos do regime observado no ponto P1, Figura 10. Como se pode ver, não há qualquer relação entre alturas e direcções em P1.

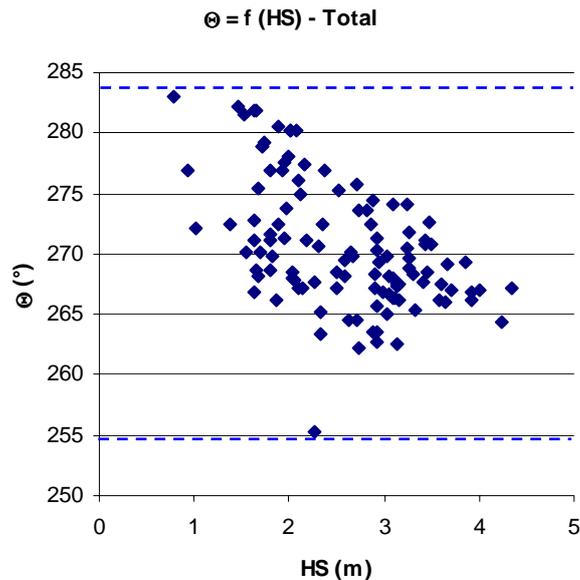


Figura 10– Relação $HS = f(\Theta)$ com base nos máximos mensais de HS em P1

No Quadro 5, apresenta-se um resumo do regime de extremos no ponto P1. Globalmente, o regime de extremos de agitação em P1 é caracterizado por ondas com direcções compreendidas entre 225° e 290°, períodos entre os 6 e os 17 s e alturas significativas, para os períodos de retorno de, respectivamente, 1, 5, 10, 25 e 50 anos, de 3.66 m, 4.04 m, 4.29 m, 4.59 m e 4.82 m. O valor máximo de altura significativa possível no local (20.4 m) não foi atingido ou ultrapassado por qualquer valor de HS extrapolado em P1.

Ponto P1				
Sector	T (ano)	HS (m)	TZ (s)	Θ (°)
210-240	1	1.26	6-17	210-240
	5	1.64	6-17	
	10	1.93	6-17	
	25	2.38	7-17	
	50	2.77	7-17	
240-270	1	3.64	6-17	240-270
	5	4.05	6-17	
	10	4.31	6-17	
	25	4.64	7-17	
	50	4.88	7-17	
270-300	1	3.19	6-17	270-300
	5	3.50	6-17	
	10	3.71	6-17	
	25	3.97	7-17	
	50	4.16	7-17	
300-330	1			
	5			
	10			
	25			
	50			
Total	1	3.66	6-17	225-290
	5	4.04	6-17	
	10	4.29	6-17	
	25	4.59	7-17	
	50	4.82	7-17	

Quadro 5 - Resumo do regime de extremos, por sector e total, no ponto P1



4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

3.3.3 Regime de extremos total e por sectores de direcções em P2

O regime observado obtido em P2 permitiu a construção das amostras indicadas no Quadro 6 com vista à determinação dos valores extrapolados de HS nesse ponto nos diversos sectores de direcções.

Ano marítimo	HS (m) em P2, por sector				Total
	210-240	240-270	270-300	300-330	
84-85		3.37	3.72		3.72
85-86		2.49	3.18		3.18
86-87		2.62	4.39	1.34	4.39
87-88		2.77	3.78	1.40	3.78
88-89		1.83	4.02	1.36	4.02
89-90		3.59	3.61	0.95	3.61
90-91	0.71	2.76	4.05	2.23	4.05
91-92	0.82	2.60	4.33	2.31	4.33
92-93		2.63	3.99	1.79	3.99
93-94			3.64	1.03	3.64
94-95		2.14	4.25	1.81	4.25
95-96	0.60	3.89	3.79	1.36	3.89
<i>u</i>	<i>2.00</i>	<i>1.09</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>

u - intervalo médio entre observações

Quadro 6 - Amostras de máximos anuais (Invernos marítimos) de HS (em m), por sector, no ponto P2

Para o ponto P2, verifica-se que embora haja direcções referentes ao sector 210°-240°, elas correspondem apenas a 3 invernos marítimos (muitíssimo incompletos) entre o Inverno de 90-91 e o de 95-96 (ver coluna a sombreado do Quadro 6). O tamanho da respectiva amostra, de 3 valores e intervalo médio entre observações de 2.00 (última linha do Quadro 6), é claramente insuficiente para que se conclua algo neste sector, mesmo a título indicativo. Assim, esta amostra é liminarmente rejeitada pelo que não será referida daqui em diante.

No sector 240°-270° há valores correspondentes a apenas 11 dos 12 invernos marítimos considerados, pelo que, neste sector, o intervalo médio entre observações, considerado para efeitos de extrapolação por distribuição assintótica de extremos, é de $u = 12/11 = 1.09$ (última linha do Quadro 6).

Para o sector 270°-300°, assim como para a totalidade das direcções (coluna "Total" do Quadro 6) existem 12 valores referentes a 12 anos, pelo que o intervalo médio entre observações considerado foi, em ambos, $u = 12/12 = 1.00$. O sector 300°-330° contém apenas 10 valores, mas em anos seguidos, pelo que também neste sector $u = 1.00$.

Feitos os cálculos de ajustamento das 4 amostras de HS máximo às usuais distribuições de Gumbel e Fréchet, obtiveram-se os resultados numéricos apresentados no Quadro 7. Em seguida, aplicou-se o método do parâmetro combinado (Carvalho, 1992) para escolher quais as distribuições mais adequadas. O Quadro 7 mostra os valores obtidos para o parâmetro combinado, *c*.

Estes cálculos e extrapolações produziram o regime de extremos da agitação marítima indicado no Quadro 7 para os 5 valores de período de retorno, $T = 1, 5, 10, 25$ e 50 anos. Os valores indicados nas colunas 4 e 5 são alturas de onda significativa, em metros, *N* é o tamanho da amostra considerada e *u* é o intervalo entre observações. A sombreado, aparecem os valores correspondentes às distribuições escolhidas, de acordo com os critério do parâmetro combinado.



4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

Sector (°)	N u (ano)	T (ano)	HS em P2 (m)	
			Gumbel	Fréchet
240-270	N = 11 u = 1.09	1	2.62	2.57
		5	3.35	3.34
		10	3.81	3.96
		25	4.40	4.90
		50	4.83	5.73
coeficiente de correlação, <i>r</i>			0.975	0.962
estatística K-S, <i>d</i>			0.634	0.724
erro padrão das estimativas, <i>e</i>			0.217	0.264
parâmetro combinado, $c = d/d_{max} + e/e_{max}$			1.698	2.000
Sector (°)	N u (ano)	T (ano)	HS em P2 (m)	
			Gumbel	Fréchet
270-300	N = 12 u = 1.00	1	3.84	3.82
		5	4.25	4.27
		10	4.52	4.58
		25	4.85	5.01
		50	5.10	5.36
coeficiente de correlação, <i>r</i>			0.953	0.938
estatística K-S, <i>d</i>			0.602	0.653
erro padrão das estimativas, <i>e</i>			0.298	0.341
parâmetro combinado, $c = d/d_{max} + e/e_{max}$			1.796	2.000
Sector (°)	N u (ano)	T (ano)	HS em P2 (m)	
			Gumbel	Fréchet
300-330	N = 10 u = 1.00	1	1.48	1.42
		5	2.04	2.04
		10	2.39	2.57
		25	2.84	3.44
		50	3.18	4.27
coeficiente de correlação, <i>r</i>			0.974	0.966
estatística K-S, <i>d</i>			0.566	0.677
erro padrão das estimativas, <i>e</i>			0.216	0.244
parâmetro combinado, $c = d/d_{max} + e/e_{max}$			1.721	2.000
Sector (°)	N u (ano)	T (ano)	HS em P2 (m)	
			Gumbel	Fréchet
Total	N = 12 u = 1.00	1	3.85	3.83
		5	4.26	4.28
		10	4.52	4.59
		25	4.86	5.02
		50	5.11	5.37
coeficiente de correlação, <i>r</i>			0.951	0.935
estatística K-S, <i>d</i>			0.570	0.624
erro padrão das estimativas, <i>e</i>			0.304	0.350
parâmetro combinado, $c = d/d_{max} + e/e_{max}$			1.782	2.000

Quadro 7 - Determinação da distribuição de extremos mais adequada e respectivos valores extrapolados e de adaptabilidade em P2

Como se pode observar no Quadro 7, a distribuição de Gumbel é a mais adequada para todos os sectores considerados e para a totalidade das direcções.

Para tentar obter uma relação razoável entre TZ e HS que permitisse associar valores de TZ a valores extrapolados de HS no ponto P2, fez-se também uma regressão linear entre os valores de TZ e HS máximos mensais disponíveis neste ponto. O resultado está apresentado na Figura 11. Também para este ponto, a relação que se obteve entre TZ e HS não é satisfatória, com $R^2=0.29$. Porém, também aqui se observa a tendência para o aumento dos períodos com as alturas.

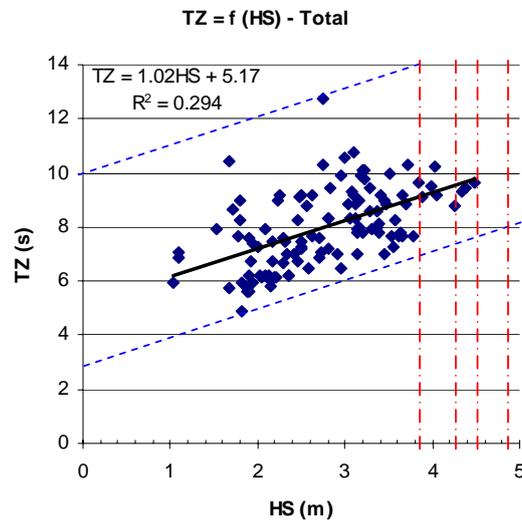


Figura 11– Relação $TZ = f(HS)$ com base nos máximos mensais de HS em P2

No Quadro 8 apresentam-se, de forma idêntica ao que se fez para P1, as gamas de períodos a associar às alturas significativas, agora para P2. Apresentam-se também as gamas de direcções a associar àquelas alturas, determinadas com base nos valores obtidos do regime observado neste ponto. Como se vê na Figura 12, também em P2 não há qualquer relação entre alturas e direcções.

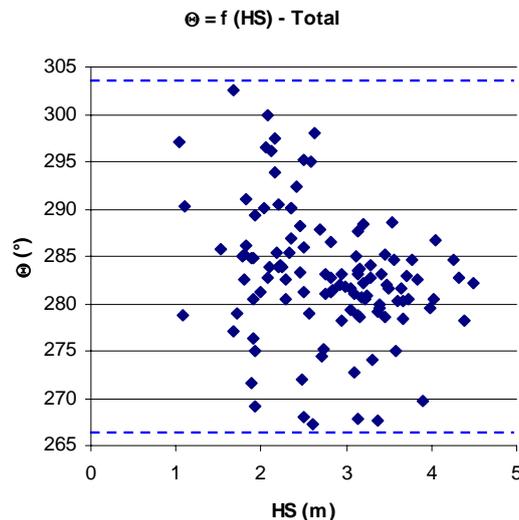


Figura 12– Relação $HS = f(\Theta)$ com base nos máximos mensais de HS em P2

Assim, no Quadro 8, apresenta-se um resumo do regime de extremos no ponto P2. Globalmente, o regime de extremos de agitação no ponto P2 é caracterizado por ondas com direcções compreendidas entre 235° e 320° , períodos entre os 6 e os 17 s e alturas significativas, para os períodos de retorno de, respectivamente, 1, 5, 10, 25 e 50 anos, de 3.85



4^as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

m, 4.26 m, 4.52 m, 4.86 m e 5.11 m. Também em P2, o valor máximo de altura significativa possível (20.4 m) não foi atingido ou ultrapassado por qualquer valor de HS extrapolado.

P2				
Sector	T (ano)	HS (m)	TZ (s)	Θ (°)
210-240	1			
	5			
	10			
	25			
	50			
240-270	1	2.62	6-17	240-270
	5	3.35	6-17	
	10	3.81	6-17	
	25	4.40	7-17	
	50	4.83	7-17	
270-300	1	3.84	6-17	270-300
	5	4.25	6-17	
	10	4.52	6-17	
	25	4.85	7-17	
	50	5.10	7-17	
300-330	1	1.48	6-17	300-330
	5	2.04	6-17	
	10	2.39	6-17	
	25	2.84	7-17	
	50	3.18	7-17	
Total	1	3.85	6-17	235-320
	5	4.26	6-17	
	10	4.52	6-17	
	25	4.86	7-17	
	50	5.11	7-17	

Quadro 8 - Resumo do regime de extremos, por sector e total, no ponto P2

Nas duas secções anteriores, foram encontrados os regimes de extremos em dois pontos próximos, ambos referentes à mesma batimétrica de -30 m (ZH). Estes regimes, também bastante similares, podem, para um estudo global do regime de extremos na zona em frente à praia da Nazaré, ser reduzidos à sua média. Assim, no Quadro 9, apresenta-se um resumo do regime de extremos na batimétrica -30 m (ZH) em frente à praia da Nazaré, realizado com base na utilização, com igual peso, das médias dos valores extrapolados de HS correspondentes ao Quadro 5 e ao Quadro 8. Trata-se de um regime caracterizado por ondas com direcções compreendidas entre 230° e 316°, períodos entre os 6 e os 17 s e alturas significativas, para os períodos de retorno de, respectivamente, 1, 5, 10, 25 e 50 anos, de 3.80 m, 4.20 m, 4.46 m, 4.79 m e 5.04 m.

Regime de extremos resumido na Nazaré			
T (ano)	HS (m)	TZ (s)	Θ (°)
1	3.80	6-17	230-316
5	4.20	6-17	
10	4.46	6-17	
25	4.79	7-17	
50	5.04	7-17	

Quadro 9 – Resumo do regime de extremos em frente à praia da Nazaré



4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

4. Conclusão

O trabalho apresentado nesta comunicação visou a caracterização de regimes de agitação marítima na zona da colocação de módulos recifais na enseada da Nazaré mediante a definição de dois tipos de regimes de agitação marítima, o regime geral observado e o regime de extremos, em dois pontos localizados na frente da enseada da praia da Nazaré.

Para isso, usaram-se dados recolhidos em bóia-ondógrafo da Figueira da Foz, transferidos para o local de interesse (em dois pontos, P1 e P2 – ver Figura 2) através da utilização da metodologia TRANSFER Coli *et al.* (2002).

Nestes pontos, o regime geral de agitação marítima pode ser definido pelo seguinte:

- O regime observado (transferido) em P1 é caracterizado por ondas com direcções compreendidas entre 225° e 290°, com direcções mais frequentes pertencentes aos sectores de 260° a 285°. Verifica-se que as direcções mais frequentes (260° e 285°) estão normalmente associadas a alturas de onda até 2.5 m e a períodos entre 4 s e 11 s. Quanto às alturas de onda, observaram-se valores de HS abaixo de 4.5 m. As alturas significativas de onda mais frequentes encontram-se nas gamas até 3.0 m, sendo no intervalo de 1.0 a 1.5 m que se verificou o maior número de ocorrências. Para este ponto, os valores de TZ variam entre 3 e 17 s, verificando-se o maior número de ocorrências na classe de 6 a 7 s.
- O regime observado (transferido) em P2 é caracterizado por ondas com direcções compreendidas entre 235° e 320° e com as direcções mais frequentes pertencentes aos sectores entre 270° e 310°. Na gama de direcções entre 280° e 285°, verificou-se o maior número de ocorrências. As direcções mais frequentes (270° a 310°) estão normalmente associadas a alturas de onda entre 0.5 e 3.0 m e períodos entre 4 e 11 s. Quanto às alturas de onda, observou-se uma diminuição das alturas significativas. Os valores de HS variam entre 0 e 4.5 m. As alturas significativas de onda mais frequentes encontram-se na gama entre 0.5 e 3.0 m, sendo no intervalo de 1.0 a 1.5 m que se verificou o maior número de ocorrências. Neste ponto, observaram-se valores de TZ entre 3 e 17 s, tendo sido no intervalo de 6 a 7 s que se verificou o maior número de ocorrências.

Finalmente, verifica-se que a diferença dos regimes observados (transferidos da Figueira da Foz) entre os dois pontos é pouco significativa. Pode-se apenas notar que o regime em P2 apresenta alturas ligeiramente mais elevadas que o de P1 e que a gama de direcções em P2 (235° a 320°) é mais extensa que em P1 (225° e 290°).

Quanto ao regime de extremos, nos dois referidos pontos, apresentam-se, a seguir, as conclusões principais:

- O regime de extremos de agitação em P1 é caracterizado por ondas com direcções compreendidas entre 225° e 290°, períodos entre os 6 e os 17 s e alturas significativas, para os períodos de retorno de, respectivamente, 1, 5, 10, 25 e 50 anos, de 3.66 m, 4.04 m, 4.29 m, 4.59 m e 4.82 m. O valor máximo de altura significativa possível no local (20.4 m) não foi atingido ou ultrapassado por qualquer valor de HS extrapolado em P1.
- O regime de extremos de agitação no ponto P2 é caracterizado por ondas com direcções compreendidas entre 235° e 320°, períodos entre os 6 e os 17 s e alturas significativas, para os períodos de retorno de, respectivamente, 1, 5, 10, 25 e 50 anos, de 3.85 m, 4.26 m, 4.52 m, 4.86 m e 5.11 m. Também em P2, o valor máximo de altura significativa possível (20.4 m) não foi atingido ou ultrapassado por qualquer valor de HS extrapolado.

Como nota final sobre este estudo de transferência de regimes desde a Figueira da Foz até à Nazaré, para ambos os pontos, chama-se a atenção para os seguintes aspectos:

1. Os dados utilizados, provenientes de bóias-ondógrafo da Figueira da Foz, têm lacunas, por vezes em períodos de temporal. Consequentemente, as amostras a que se chegou,



4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

a partir das quais se fizeram as extrapolações de extremos anuais, podem não conter os efectivos máximos de HS que ocorreram nos diversos invernos marítimos;

2. As amostras de extremos consideradas pecam por serem pequenas. Assim, as extrapolações apresentadas nos quadros-resumo relativos aos regimes de extremos nos pontos P1 e P2 merecem algumas reservas;
3. O espectro considerado neste estudo, para todos os regimes, foi um espectro empírico de JONSWAP, de banda estreita ($s = 10$), no que respeita a direcções. Note-se que se escolheu o espectro de banda estreita por em estudos anteriores se ter verificado que os resultados com espectros de diversas larguras de banda ($s=1, 5$ e 10) eram idênticos;
4. O leque de direcções locais da Figueira da Foz é extenso. Direcções extremas de, por exemplo, 190° e 350° , associadas a períodos muito baixos (inferiores a 6 s) podem ser geradas por ventos locais sendo portanto desnecessária a sua transferência para o largo e, posteriormente, para os pontos considerados junto à costa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento concedido pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) através dos projectos de referências POCTI/ECM/12100/98, POCTI/ECM/32446/2000 e POCTI/CTA/45431/2002. Expressam também o seu agradecimento à técnica experimentadora Branca Branco, pelo apoio na revisão do texto e na produção das figuras.

BIBLIOGRAFIA

- Capitão, R.; Fortes, C.J.; Carvalho, M.M.; Covas, J.A.; Reis, M.T. (1994) – *A Method for obtaining deep water wave characteristics based on the local sea wave climate*. International Conference "Seminário Luso Francês de Modelação em Hidráulica Marítima", Coimbra.
- Capitão, R.; Fortes, C. J.; Coli, A.B. (2005). Estudo da estabilidade de módulos cúbicos recifais e da evolução do fundo arenoso adjacente ao local da sua colocação. Relatório 1 : Regimes de Agitação Marítima. Relatório 54/05–NPE. Lisboa, Fevereiro de 2005.
- Carvalho, M.M. (1992) - Valores extremos da agitação marítima. Figueira da Foz – Tratamento local dos dados existentes. Relatório 198/92-NPP, LNEC, Lisboa, Dezembro de 1992.
- Carvalho, M.M.; Capitão, R. (1994). Regime Geral de Extremos da Agitação Marítima na Costa Oeste de Portugal. Relatório 307/94-NPP. Lisboa, Novembro de 1994.
- CEM (2001) - Coastal Engineering Manual. Department of the Army, USACE, Washington, DC. Versão disponível na [www](http://www.usace.army.mil).
- Coli, A.; Fortes, C.J.; Santos, J.A.; Capitão, R.; Carvalho, M.M. (2002). "Metodologia de propagação de regimes de agitação marítima do largo para a costa: análise dos modelos BACKTRACK-REFSPEC e SWAN". 6º Congresso da Água (APRH), Porto.
- Copeiro, E. (1978) - Extremal prediction of significant wave height, Proceedings of the 16th Conference on Coastal Engineering, Hamburg, 1978.
- Covas, J.A.; Pontes, M.T. (1988) – *Modelo matemático de refração de ondas irregulares*, Report LNEC/LNETI. Lisboa.