



ANÁLISE CLIMATOLÓGICA DA AGITAÇÃO MARÍTIMA NA COSTA SUL DA MADEIRA

Rita Esteves, José Paulo Pinto, Mariana Costa

Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa

Resumo

Nesta comunicação é feita uma análise climatológica da agitação marítima na costa Sul da ilha da Madeira com base nos dados disponíveis das estações ondógrafo do Funchal e Caniçal. São caracterizadas as condições médias globais e sazonais.

Para o mesmo período são realizadas simulações numéricas, usando o modelo espectral para águas pouco profundas SWAN (Simulating WAVes Nearshore), que permitem obter uma estimativa das condições de agitação marítima no Sul da ilha da Madeira a partir das condições de incidência. Estas são produzidas pelo modelo espectral para águas profundas *WAVEWATCH III (WW3)* que simula a geração e a propagação da ondulação na bacia do Atlântico Norte. Com as simulações pretende-se efectuar uma validação do esquema numérico da área em estudo.

1. INTRODUÇÃO

A caracterização das condições de agitação marítima viu a sua importância acrescida nas últimas décadas, em estudos de impacto ambiental e engenharia costeira. Uma grande parte da energia das ondas é dissipada perto da costa determinando a sua morfologia, e exercendo grande influência sobre estruturas aí existentes. Uma avaliação adequada das condições de agitação marítima é essencial para o projecto e dimensionamento de estruturas costeiras. De entre os diferentes sectores que beneficiam com este tipo de informação oceanográfica destacam-se os relacionados com a segurança no mar, obras portuárias, o sector das pescas, dinâmica e comportamento dos ecossistemas costeiros, turismo, etc. Todos estes domínios revelam-se fundamentais para o planeamento de actividades económicas e de lazer que se desenvolvem junto à costa.

A aquisição de dados de agitação marítima com bóias ondógrafo, com vista à caracterização do clima, tem sido uma actividade importante do Instituto Hidrográfico (IH) nos últimos 25 anos. Actualmente existem diversas estações ondógrafo no Continente e nas Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira, algumas das quais, atendendo à sua localização se consideram fundamentais para a caracterização do clima de agitação na costa portuguesa.

Recentemente, foi feito um esforço significativo no desenvolvimento de modelos numéricos capazes de simular a agitação marítima na costa portuguesa. Estes permitem representar a propagação da agitação marítima para um dado local e em conjunto com os dados recolhidos pelas bóias, efectuar a caracterização das condições de agitação.

Neste trabalho apresentam-se os resultados preliminares de um estudo, que está a ser desenvolvido pelo IH, sobre a agitação marítima na costa Sul da ilha da Madeira. Para o estudo, foi utilizada toda a informação disponível relativa às estações ondógrafo do Funchal e do Caniçal, desde o seu início até ao final de 2006, com vista à caracterização das condições de agitação. Para o mesmo período foram realizadas simulações numéricas usando um modelo de previsão de agitação marítima em águas pouco profundas, o modelo SWAN (*Simulating Waves Nearshore*). Este é um modelo de 3^o geração, baseado na equação de balanço de acção de onda, adequado à simulação de agitação marítima em regiões costeiras, lagos e estuários. As simulações visam dois objectivos: efectuar uma validação deste esquema numérico, na área em análise, e tipificar a agitação marítima no Sul da ilha da Madeira.

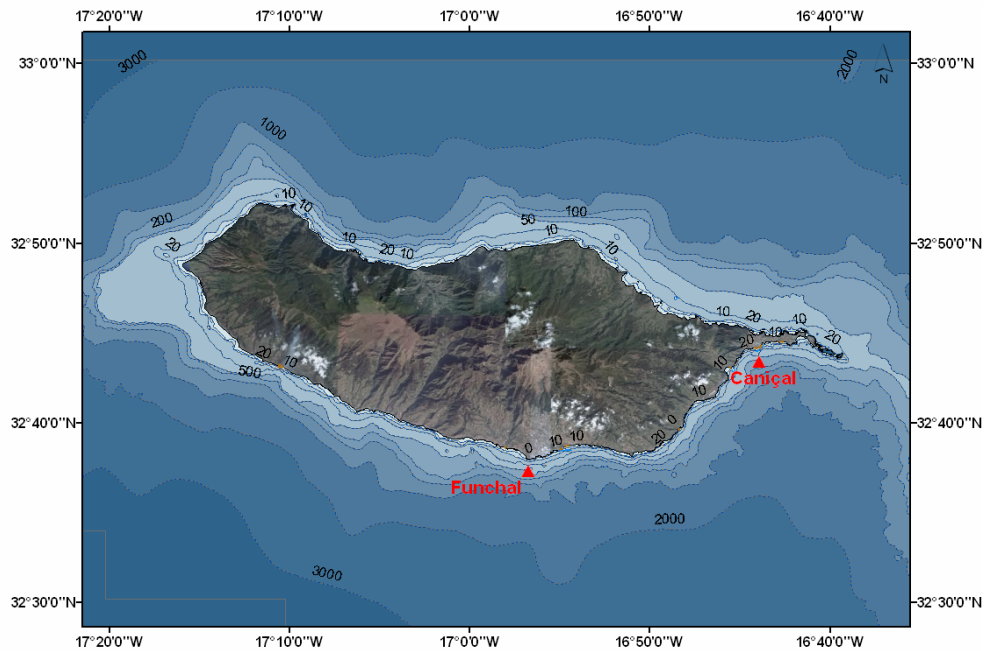


Figura 1 – Ilha da Madeira
Imagem do domínio em estudo e da localização das estações ondógrafo.

O presente artigo está pois dividido em duas partes: na primeira são analisados os dados de agitação marítima referentes às estações ondógrafo do Funchal e do Caniçal. Na segunda são apresentados os resultados preliminares das simulações para a costa Sul da ilha da Madeira, e efectuada uma comparação com os resultados provenientes das bóias.

2. DADOS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA

2.1 Aquisição e processamento de dados

A caracterização do clima de agitação marítima na costa Sul da ilha da Madeira é baseada em dados da estação ondógrafo do Funchal e Caniçal referentes, respectivamente, aos períodos de Agosto de 1989 a Dezembro de 2006 e de Novembro de 1996 a Dezembro de 2006.

Tabela I – Estações ondógrafo

Estações	Prof. (m)	Latitude (N)	Longitude (W)	Data inicial	Data final
Funchal (Não-Direccional)	100	32° 37'06"	16°56'30"	Agosto 1989	Outubro 1996
Funchal (Direccional)	100	32° 37'06"	16°56'30"	Novembro 1996	Em funcionamento
Caniçal (Não-Direccional)	108	32°43'12"	16°43'42"	Novembro 1996	Fevereiro 2002
Caniçal (Direccional)	108	32°43'12"	16°43'42"	Fevereiro 2002	Em funcionamento



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

Inicialmente os dados foram adquiridos por bóias do tipo não-direccional e posteriormente, do tipo direccional. Os períodos de funcionamento das bóias podem ser visualizados na tabela I. Esta apresenta para cada estação, a sua profundidade, posição geográfica e período de funcionamento.

As bóias não-direccionais possuem apenas um sensor que mede a aceleração vertical do movimento da superfície do mar, o que permite obter informação referente à altura e ao período das ondas. As bóias direccionais estão equipadas com sensores adicionais que medem as acelerações horizontais da superfície livre, permitindo assim obter, em simultâneo, informação relativa à altura, período e direcção.

Em condições normais, a aquisição dos dados foi efectuada de 3 em 3 horas, durante períodos de 20 a 30 minutos de duração, com início às horas sinópticas. Em situação de temporal (altura significativa superior a 3m) a aquisição foi efectuada de modo quase contínuo, isto é, os períodos de aquisição foram apenas espaçados de pequenos intervalos durante os quais é testado se a situação de temporal se mantém. A tabela II representa o número de observações válidas (no total e de 3/3h) e as respectivas percentagens.

Tabela II – Percentagens Mensais de observações válidas

Meses	Funchal		Caniçal	
	Número total de observações	Número (%) de Observações de 3/3h	Número total de observações	Número (%) de Observações de 3/3h
JAN	3364	3259 (77)	1908	1891 (76)
FEV	3319	3168 (83)	2035	2024 (90)
MAR	3529	3357 (80)	1980	1929 (78)
ABR	3317	3272 (80)	1543	1543 (64)
MAI	3412	3411 (81)	2106	2106 (85)
JUN	2953	2953 (72)	1838	1838 (77)
JUL	3570	3570 (85)	2148	2148 (87)
AGO	3712	3712 (83)	2012	2012 (81)
SET	3670	3644 (84)	1841	1841 (77)
OUT	3594	3410 (76)	2079	2079 (84)
NOV	2852	2770 (64)	2257	2257 (85)
DEZ	4054	3515 (79)	2387	2357 (86)

Em termos globais, a percentagem de registos válidos é de 79% para o Funchal e 81% para o Caniçal. Agrupando os meses em períodos de Verão (Abril a Setembro) e Inverno (Outubro a Março), verifica-se que as percentagens sazonais são muito semelhantes. Relativamente a cada mês do ano, a cobertura temporal também não apresenta diferenças significativas, variando no Funchal entre 64% em Abril, 90% em Fevereiro, e no Caniçal entre 64% em Novembro e 85% em Julho.

No que respeita ao processamento de dados, as séries temporais de deslocamento (verticais e horizontais) foram analisadas no domínio da frequência, com vista à estimação dos parâmetros característicos da agitação marítima. Para cada registo, foram então estimados, entre outros, os parâmetros que se apresentam neste artigo: altura significativa (H_{M0}), período médio (T_{02}), período de pico (T_P) e direcção média associada ao período de pico (T_{HTP}). Note-se que a direcção aqui considerada é a direcção de onde as ondas vêm, medida a partir do Norte verdadeiro, no sentido dos ponteiros do relógio.

São aqui caracterizadas, numa forma sumária, as condições médias globais e sazonais, baseadas apenas nos registos válidos adquiridos de 3 em 3 horas, e as situações de temporal, em que foram considerados todos os registos válidos adquiridos durante o período em análise.

2.2 Condições médias globais

As condições médias globais são aqui caracterizadas através da informação presente nos gráficos das distribuições de frequência relativa de cada um dos parâmetros H_{M0} , T_{02} , TP e da distribuição conjunta H_{M0} - T_{HTP} (Figuras 2 a 6), bem como nos quadros que resumem a distribuição conjunta de H_{M0} - T_{02} - T_{HTP} (Tabelas III e IV).

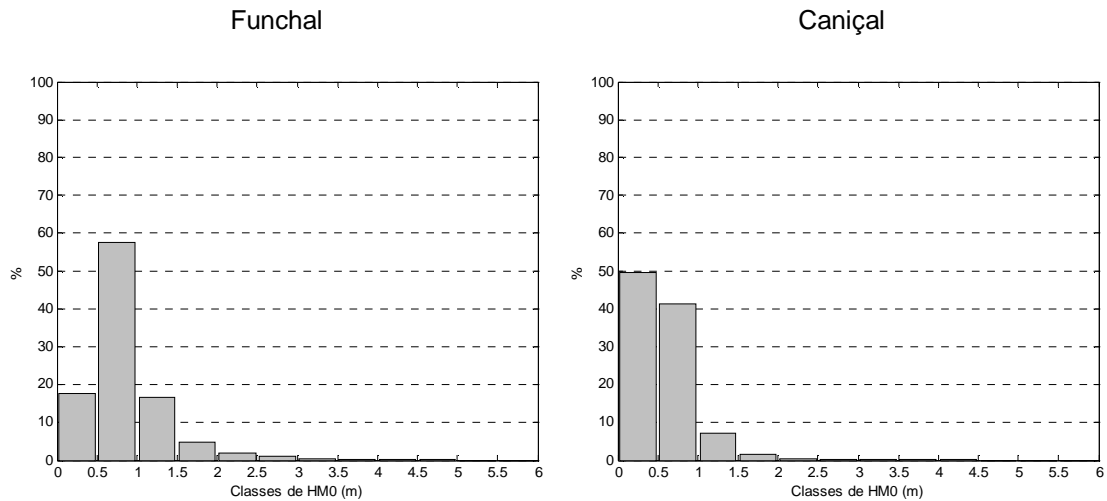


Figura 2 – Distribuição de frequência relativa de H_{M0}

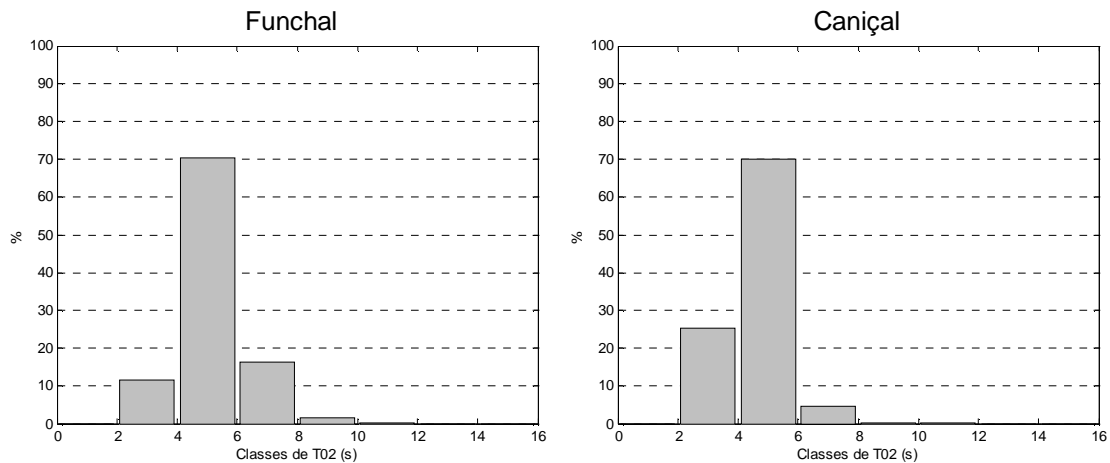


Figura 3 – Distribuição de frequência relativa de T_{02}

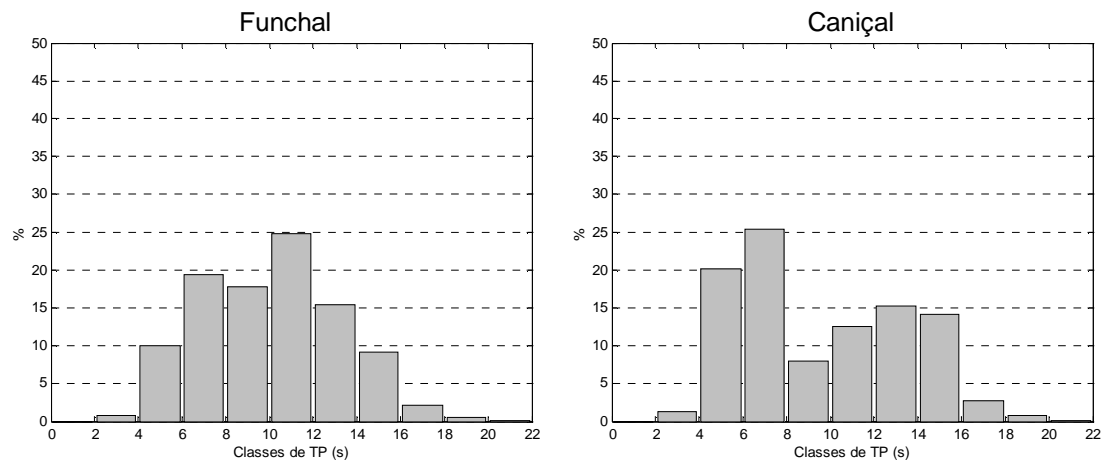


Figura 4 – Distribuição de frequência relativa de TP

Da análise das distribuições de HMO, T02 e TP salienta-se:

Altura Significativa:

Os valores mais frequentes no Funchal, situam-se na classe de 0.5 a 1m (quase 60% do total de observações); valores superiores a 1m são cerca de 25%. No Caniçal os valores mais frequentes são inferiores a 0.5m, com 50% de observações, tendo 41% a classe dos 0.5 a 1m; valores superiores a 1m, são apenas 9%. Acima de 3 m a percentagem é inferior a 1% em ambas as estações. A média e o desvio padrão são, respectivamente, 0.85m e 0.48m para o Funchal e 0.58m e 0.32m para o Caniçal.

Período Médio:

Os valores mais frequentes situam-se entre 4 e 6s (71% para o Funchal e 70% para Caniçal); valores superiores a 8s não atingem 2% em ambas as estações. A média e o desvio padrão são, respectivamente, para o Funchal 5.1s e 1.1s e para o Caniçal 4.5s e 0.8s.

Período de pico:

Os valores mais frequentes no Funchal situam-se na classe de 10 a 12s, embora com apenas 25% do total de observações; as classes entre 4 e 16s totalizam cerca de 87 % das observações. A média é 9.9s e o desvio padrão é 3.2s.

No Caniçal a classe mais frequente é a de 6 a 8s, também com 25% das observações. As classes entre 4 e 16s têm 95% das observações. A média é 9.5s e o desvio padrão é 3.8s.

A análise comparativa dos resultados de cada uma das estações permite concluir que no Caniçal as alturas e os períodos são inferiores aos representados no Funchal.



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

As Figuras 5 e 6 mostram para o Funchal e Caniçal, respectivamente, a distribuição de frequência relativa da direcção média associada ao período de pico, para três classes de altura significativa (0 - 1m, 1 - 3m e >3m). Para o Funchal a maioria das ondas são provenientes de Oeste, observando-se também ocorrências significativas de Leste (cerca de 20%). Verifica-se ainda que ocorrências de alturas significativas superiores a 3m estão associadas apenas a direcções entre W e SW.

A análise de dados do Caniçal evidencia que a ondulação incidente é proveniente do quadrante SE (39% de Sul, 36% de Este e 21% de SE). As diferenças na distribuição de THTP entre as duas estações são claramente condicionadas pelo facto da estação do Caniçal se encontrar abrigada dos estados do mar provenientes de W.

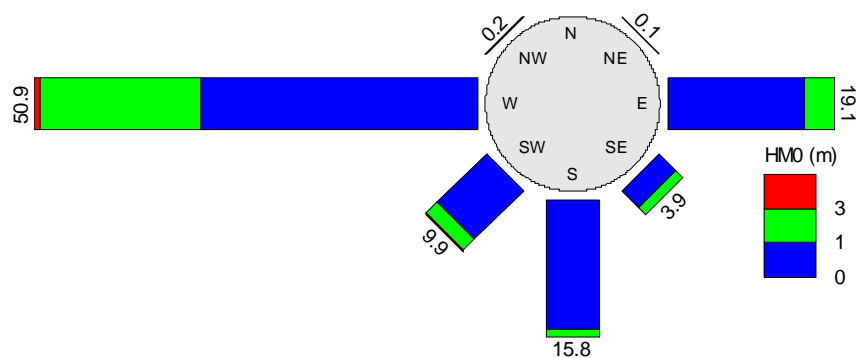


Figura 5 – Distribuição conjunta de frequência relativa HMO-THTP, para o Funchal

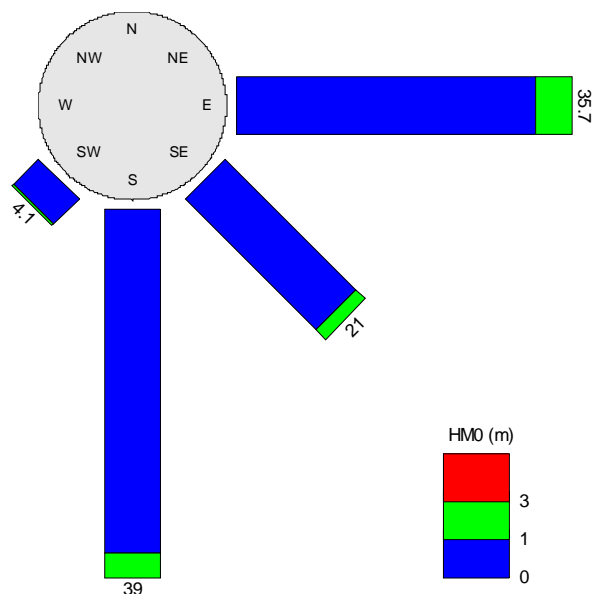


Figura 6 – Distribuição conjunta de frequência relativa HMO -THTP, para o Caniçal



2.3 Distribuição conjunta de direcções, alturas significativas e períodos médios

Nas tabelas III e IV apresenta-se a distribuição conjunta de frequência relativa HM0 – T02, para as direcções mais representativas, referentes à estação do Funchal e do Caniçal, as quais totalizam em ambos os casos mais de 85% das observações. Note-se que as percentagens que aqui se apresentam estão normalizadas, de forma a totalizarem 100% para cada classe de direcções, com vista a facilitar a sua análise comparativa.

Tabela III - Distribuição conjunta de HM0-T02, por direcção, para o Funchal

W (50.9%)	2 a 4	4 a 6	6 a 8	>8
<1	8.8	43.3	9.9	0.4
1-2	0.7	18	10.3	2.1
2-3		1.9	2.4	0.6
3-4			1.1	
4-5			0.2	

E (19.2%)	2 a 4	4 a 6	6 a 8	>8
<1	21.8	59.9	0.4	
1-2	0.8	16.7	0.4	
2-3				
3-4				
4-5				

S (15.8%)	2 a 4	4 a 6	6 a 8	>8
<1	23.7	63.2	6.6	0.1
1-2	0.2	4.7	0.6	
2-3		0.3	0.4	
3-4		0.1	0.1	
4-5				

Tabela IV - Distribuição conjunta de HM0-T02, por direcção, para o Caniçal

E (35.8%)	2 a 4	4 a 6	6 a 8	>8
<1	37.4	51.4	0.2	
1-2	0.2	10.5	0.3	
2-3			0.1	
3-4				
4-5				

SE (21%)	2 a 4	4 a 6	6 a 8	>8
<1	37.5	53.7	2.1	
1-2	1.2	4.9	0.1	
2-3		0.3	0.1	
3-4				
4-5				

S (39%)	2 a 4	4 a 6	6 a 8	>8
<1	33.3	53	6.8	0.5
1-2	1.2	4.3	0.2	
2-3		0.5	0.1	
3-4				
4-5				

Da análise destas tabelas salienta-se:

No Funchal, a distribuição conjunta de HM0-T02 parece estar influenciada pela direcção. Assinala-se, em particular, que os maiores valores de altura significativa e período médio provêm maioritariamente de Oeste, existindo também algumas situações de Sul. Relativamente ao Leste, as alturas significativas situam-se abaixo dos 2m e os períodos abaixo dos 8s.

No Caniçal, a influência da direcção de propagação nas distribuições de HM0-T02 não é visível. Tal deve-se obviamente à geometria da ilha, que impede a propagação das componentes de Oeste. Para direcções de Sul e Este, as distribuições de HM0-T02 são semelhantes em ambas as estações. As observações mais frequentes correspondem sempre a alturas significativas inferiores a 1m e períodos médios entre 4 e 6s. No Caniçal, apenas se observam períodos superiores a 8s na ondulação proveniente de Sul.

2.4 Condições médias sazonais

As condições médias sazonais são aqui caracterizadas através da informação presente nos gráficos das Figuras 7 a 10.

As Figuras 7 a 9 mostram a variação ao longo do ano dos valores médios e máximos mensais da altura significativa (HM0), período médio (T02) e período de pico (TP), respectivamente. Nelas se evidencia o carácter sazonal das condições de agitação marítima, com os valores médios e máximos mais elevados a ocorrerem quase sempre no Inverno.

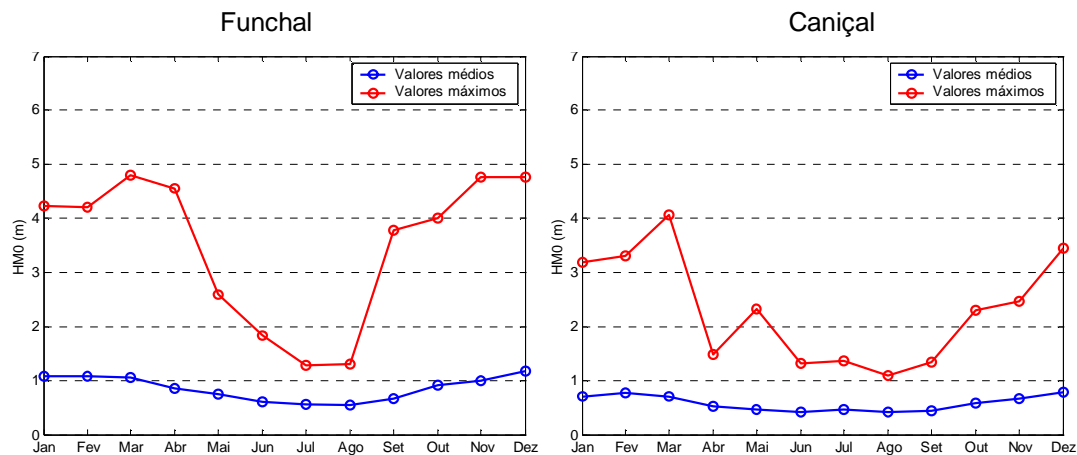


Figura 7 – Variação ao longo do ano das médias e máximos mensais de HM0

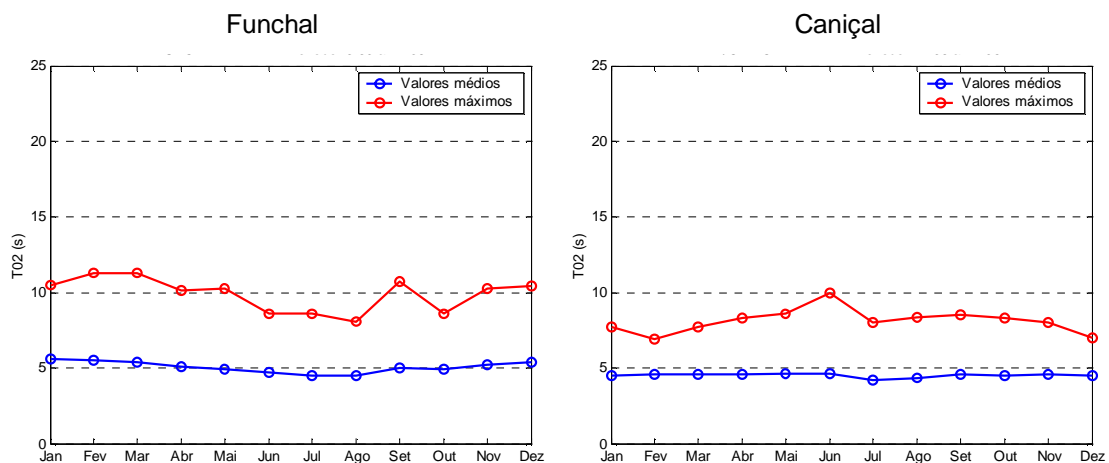


Figura 8 – Variação ao longo do ano das médias e máximos mensais de T02

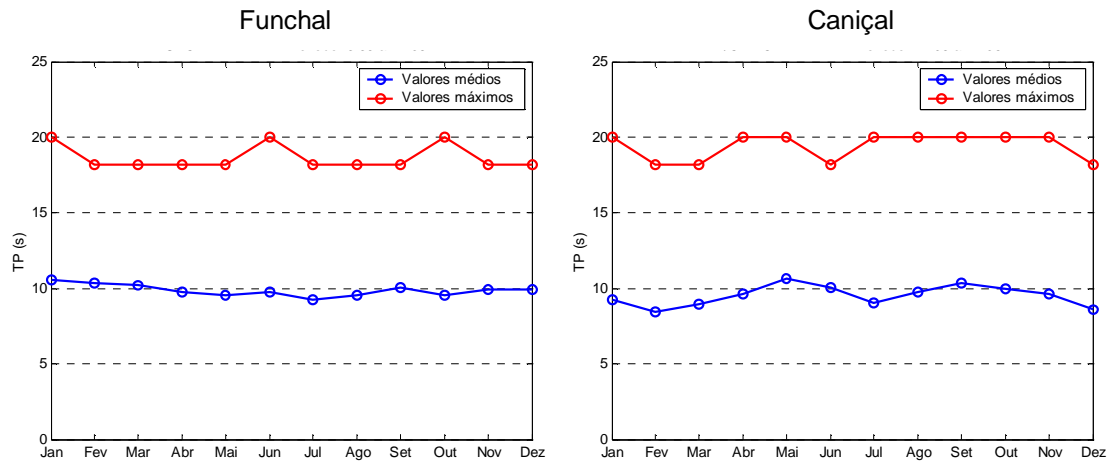


Figura 9 -Variação ao longo do ano das médias e máximos mensais de TP

Nos meses de Inverno, no Funchal, os valores médios de H_{M0} estão compreendidos entre 0.55 e 1.18m, apresentando valores máximos superiores a 3m. Nos meses de Verão os valores médios são inferiores a 1m e os máximos inferiores a 3m excepto os meses de Abril e Setembro, apresentando-se como meses de transição entre o Inverno e o Verão. No Caniçal os valores médios mensais são sempre inferiores a 1m. No Inverno os valores máximos estão compreendidos entre os 2m e os 4m e no verão entre 1m e 2.3m. Note-se que a altura significativa, ao longo do ano no Funchal, é superior à do Caniçal.

A Figura 10 mostra a distribuição de frequência relativa da altura significativa, em três classes, ao longo do ano. Observa-se que alturas significativas inferiores a 1m são as mais frequentes mesmo durante os meses de Inverno; valores superiores a 3m apresentam percentagens de ocorrência muito baixas. No Funchal, o mês com mais ocorrências de altura significativa superior a 3m foi Dezembro onde se verificou 3.5% de registos. O Caniçal possui percentagens inferiores a 1% de alturas significativas superiores a 3m.

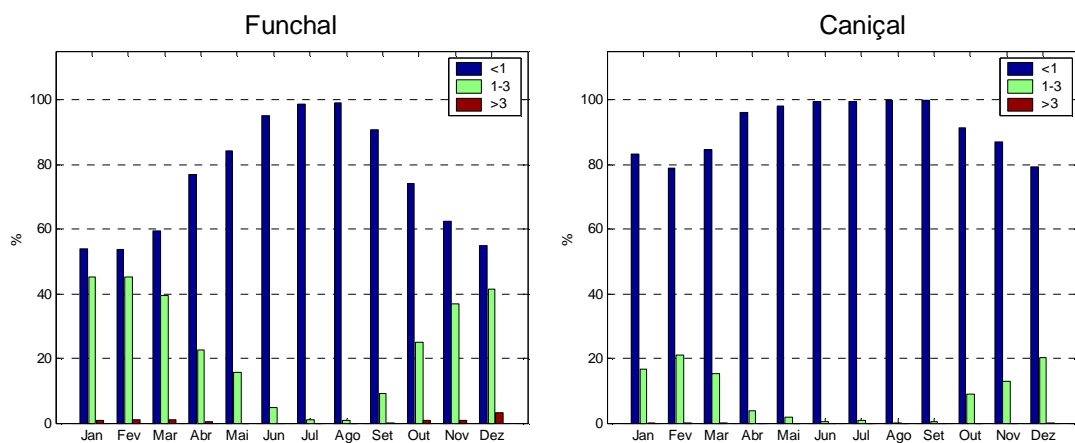


Figura 10 – Variação ao longo do ano da distribuição mensal de H_{M0}

Nas Figuras 11 e 12 apresentam-se as distribuições de frequência relativa de THTP para os períodos de Verão e Inverno, respectivamente.

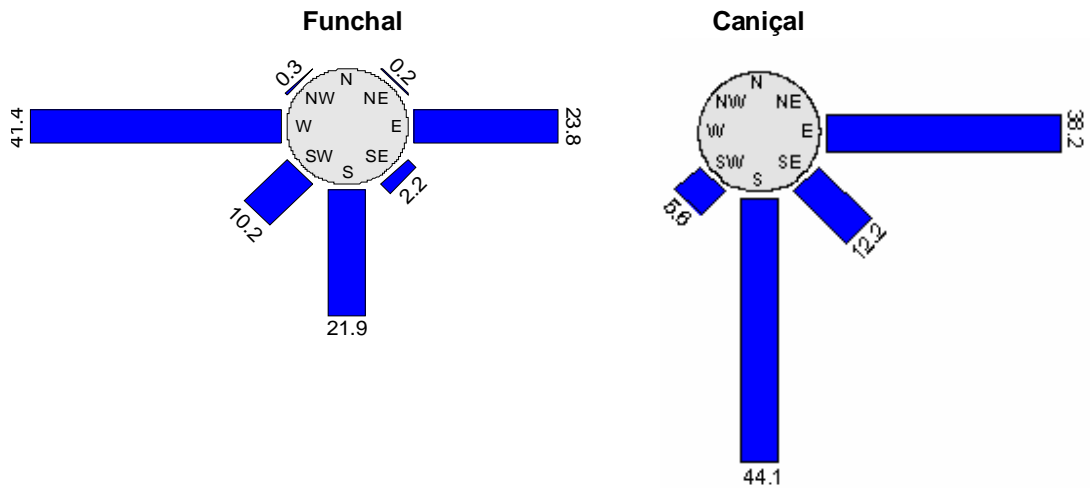


Figura 11 – Distribuição de frequência relativa de THTP (Verão)

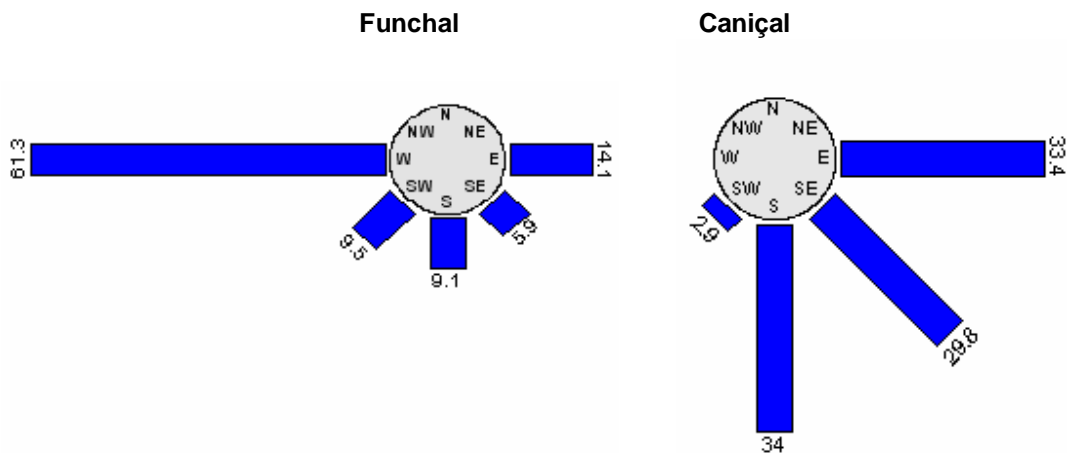


Figura 12 – Distribuição de frequência relativa de THTP (Inverno)

Comparando-as com a distribuição global apresentada na Figura 5, verifica-se que no Funchal existe no Verão um decréscimo das ocorrências de Oeste e um aumento das ocorrências de Sul e Este; no Inverno ocorre a situação inversa, ou seja, um acréscimo relativamente a Oeste e um decréscimo na direcção Sul e de Este.

No Caniçal, nos meses de Verão, aumentam as ocorrências de Sul e Este, diminuindo as de Sudeste. Como seria de esperar, no Inverno ocorre uma diminuição da ondulação proveniente de Sul e de Este e um aumento relativamente a Sudeste.



2.5 Condições de Temporal

A identificação dos temporais foi efectuada apenas a partir do cálculo da altura significativa, tendo-se considerado existir situação de temporal sempre que aquele valor excedeu 3 metros.

No período em análise foram identificados 52 temporais, distribuídos por classes de altura (altura significativa máxima), direcção (direcção média associada ao período de pico) e duração (número de dias), cujos resultados se apresentam nas tabelas V e VI. Refira-se que na Tabela IV, em que se conjuga a altura com a direcção, só foram considerados os temporais ocorridos a partir de Novembro de 1996, data em que se iniciou a aquisição de dados com bóia direccional.

Tabela V - Ocorrência de temporais por classes de duração e altura significativa máxima.

Duração (dias)	HM0max (m)			Total
	3-4	4-5	>5	
<1	26	7	0	33
1-2	4	9	0	13
>2	0	5	1	6
Total	30	21	1	45

Na Tabela V apresenta-se o número de temporais ocorridos na estação do Funchal, distribuídos por classes de duração e altura significativa máxima. Os temporais mais frequentes têm uma duração inferior a 1 dia e altura significativa máxima entre 3 e 4m. Temporais de maior duração estão associados a alturas superiores. De notar que o único temporal onde a altura significativa máxima ultrapassou os 5m teve uma duração superior a 2 dias.

Tabela VI – Ocorrência de temporais por classes de direcção e altura significativa máxima.

Direcção	HM0max (m)			Total
	3-4	4-5	>5	
SE	1	0	0	1
SSE	1	0	0	1
S	0	0	0	0
SSW	1	0	0	1
SW	2	1	0	3
WSW	8	6	1	15
W	8	9	0	17
Total	21	16	1	38

Na tabela VI apresenta-se o número de temporais ocorridos na estação do Funchal, distribuídos por classes de direcção e altura significativa máxima. Verifica-se que as alturas significativas máximas mais frequentes pertencem às classes de 3-4m e 4-5m. O maior número de ocorrências, em termos de direcção, é distribuído por W e WSW. Ocorreram três temporais que não apresentaram uma direcção (THTP) dominante, evidenciando rotações bem definidas deste parâmetro (variação superior a 90°), associados a situações de circulação atmosférica de rápida variabilidade.

É um destes temporais, o único em que a altura significativa máxima excede os 5m. Este ocorreu em Dezembro de 2002, tendo sido registado um máximo de 5.18m de altura significativa, apresentando um período médio de 7s, direcção WSW e uma duração superior a 2 dias.

Refira-se ainda que a ocorrência de SE aqui apresentada como temporal é um episódio de muito curta duração (inferior a 6 horas), em que apenas existe um registo com altura significativa superior a 3m.

No Caniçal, devido à geometria da linha de costa, a ondulação incidente é menos energética que no Funchal. Dado que as alturas significativas superiores a 3m representam apenas 0.2% das observações com um máximo registado de 4m optou-se por não fazer uma análise das situações de temporal.

3. MODELAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA

3.1 Aplicação dos modelos numéricos

Foram realizadas simulações numéricas para o ano 2002, usando o modelo espectral para águas pouco profundas SWAN (Simulating Waves Nearshore), que permite obter uma estimativa das condições de agitação marítima na ilha da Madeira, a partir das condições de incidência, produzidas pelo modelo *WAVEWATCH III (WW3)*. As simulações permitem efectuar a validação deste esquema numérico na área em análise.

Para a simulação do campo de agitação marítima na ilha da Madeira foram utilizados dois modelos espectrais interligados: O modelo oceânico *WW3* e o modelo costeiro *SWAN*.

O *WW3* é um modelo espectral de terceira geração, utilizado para descrever a geração e propagação da agitação marítima à escala oceânica e está implementado no IH para o Atlântico Norte e parte do Mediterrâneo (Latitude: 5° N a 70° N e Longitude: 85° W a 40° E) com uma resolução espacial de 0.5°. A batimetria (Figura 13) foi obtida através da “Digital Bathymetric Data Base” (*DBDB*). Nas simulações consideradas neste trabalho apenas se considera para forçamento o vento a 10 metros, obtido a partir da base de dados da “National Center for Atmospheric Research” (*NCAR*), cuja resolução espacial é da ordem dos 2° com um passo temporal de 6 horas.

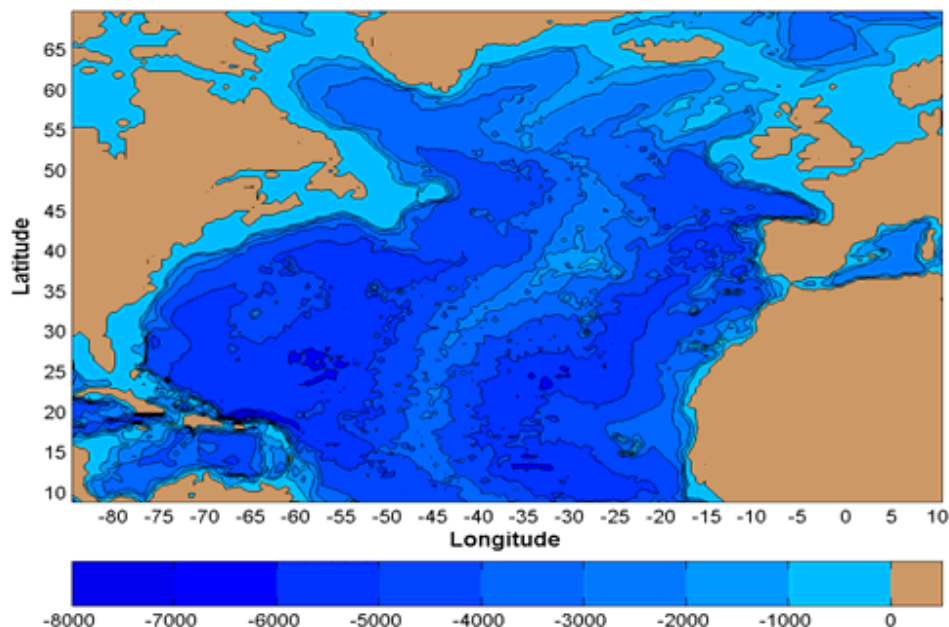


Figura 13 – Domínio de aplicação do modelo WW3

Este modelo fornece as condições fronteiras necessárias para as simulações de alta resolução sobre a ilha da Madeira efectuadas pelo modelo costeiro *SWAN*. O acoplamento entre o *SWAN* e o *WW3*, através da transferência do espectro bidimensional, é efectuado em 10 pontos da fronteira do domínio computacional da Madeira (quadrados amarelos da Figura 14) com um passo temporal de 6 horas.

O modelo *SWAN*, tal como o *WW3*, é um modelo espectral de 3^a geração, estando no entanto vocacionado para regiões costeiras, de águas intermédias a pouco profundas. Para este estudo considerou-se o domínio (Latitude: 32.2° N a 33.3° N e Longitude: 17.5° W a 16.1° W) com uma resolução espacial de 0.01°. A batimetria (Figura 13) foi construída conjugando os dados costeiros obtidos pelo (IH) com os dados ao largo da *DBDB*. Relativamente ao forçamento, para além das condições fronteira que resultam do modelo oceânico *WW3*, considerou-se o vento a 10 metros da base de dados *NCAR*.

Em ambos os modelos foi utilizado o modo não estacionário (de facto o *WW3* apenas pode funcionar neste modo), tendo os passos temporais sido escolhidos de acordo com os respectivos esquemas numéricos de cada modelo, de forma a garantir estabilidade e convergência. Para os parâmetros associados aos mecanismos físicos considerou-se os valores aconselhados nos respectivos manuais. No entanto e no que diz respeito ao *SWAN*, foram consideradas duas formulações distintas para a geração de ondas e “whitecapping”. Em nenhum dos modelos se considerou efeitos de maré ou correntes.

Em relação ao espectro 2D, a discretização na direcção é uniforme e com uma resolução de 10°. Para a frequência, estes modelos utilizam uma discretização logarítmica, tendo sido utilizados 30 pontos com $f_{\min} = 0.05$ e $f_{\max} = 0.6$.

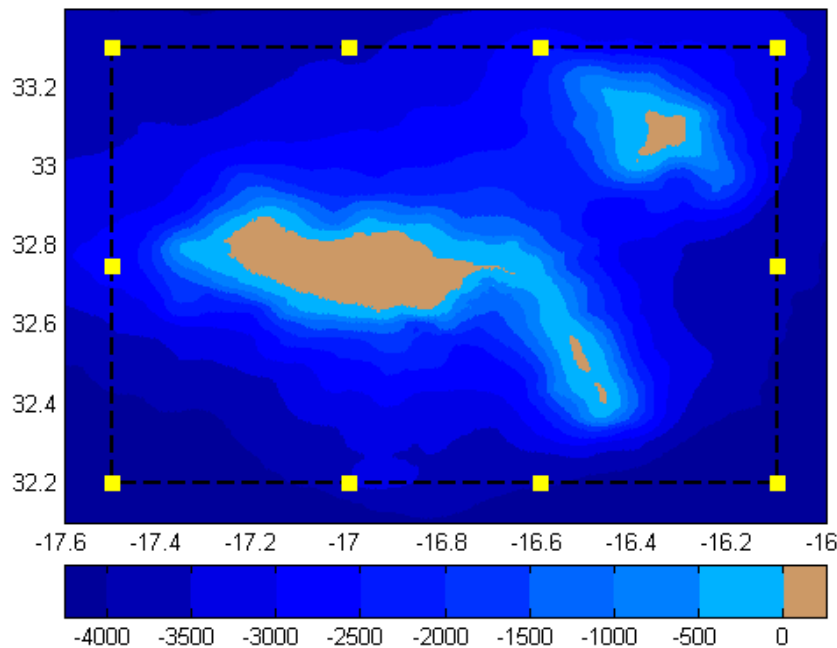


Figura 14 – Domínio computacional para o modelo *SWAN*. A fronteira consiste na linha a tracejado e os quadrados amarelos denotam as posições onde o espectro resultante do modelo oceânico *WW3* é transferido como condição fronteira para o *SWAN*.

3.2 Resultados

Para o período em estudo, foram construídas imagens representativas dos campos de altura significativa e de vectores de onda, com base nos resultados obtidos pelo modelo. Nas figuras (15 e 16) estão exemplificados os campos de altura significativa e de vectores de onda para duas situações representativas de Verão (Junho 2002) e Inverno (Outubro de 2002).

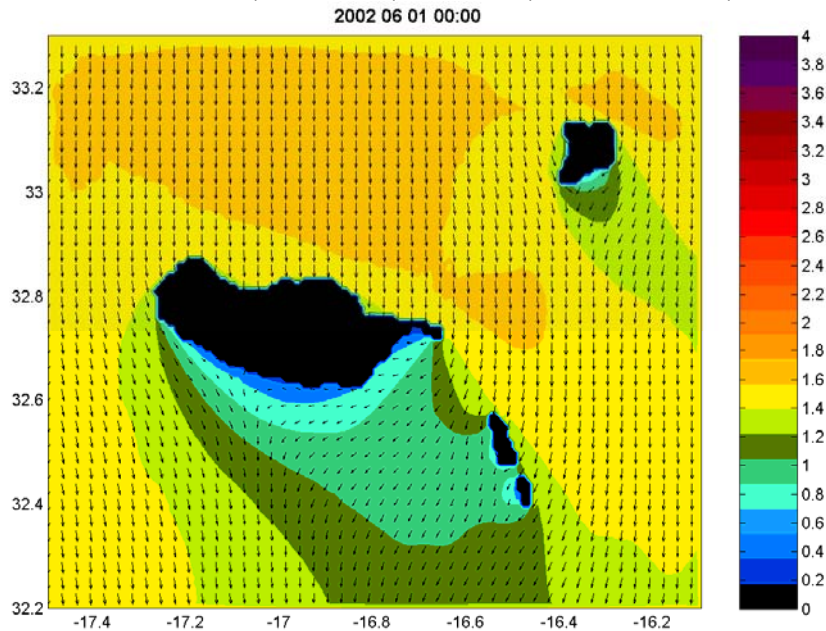


Figura 15 – Distribuição espacial de altura significativa e direcção de onda no Verão.

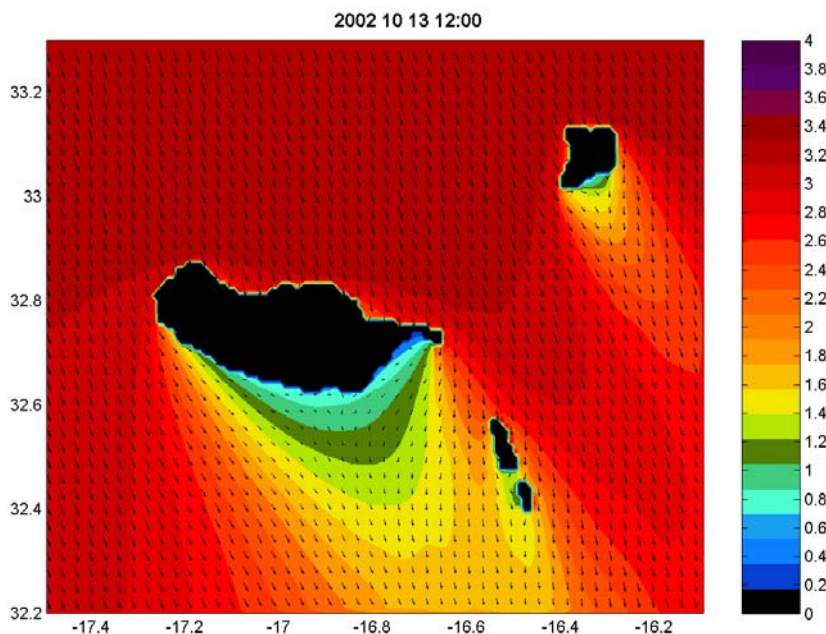


Figura 16 – Distribuição espacial de altura significativa e direcção da onda no Inverno

Da análise das figuras observa-se que, na sua maioria, a agitação é proveniente de Norte e Noroeste, incidindo mais energeticamente na costa Norte da ilha. Esta provoca um efeito sombra a Sul da ilha, resultando uma forte refração da ondulação incidente na costa Norte. Contudo, na análise dos restantes dados de Inverno, surgiram alguns períodos com ondulação de Sul. As imagens evidenciam, como era de esperar, a variação sazonal da altura significativa, com valores máximos durante o período de Inverno.

3.3 Avaliação de Resultados

Para avaliar o desempenho do modelo SWAN para ilha da Madeira, durante o período em análise, procedeu-se à comparação das séries temporais medidas pelas bóias do Funchal e do Caniçal com valores simulados pelo SWAN para pontos com as mesmas coordenadas. Os parâmetros estudados foram a altura significativa (H_s), período médio (T_{02}) e direcção associada ao período de pico (T_{pDir}). Os resultados foram analisados para duas formulações do modelo: KOMEN e JANSSEN. Exemplificam-se nas seguintes figuras os resultados obtidos para ambas as formulações, relativamente ao mês de Outubro.

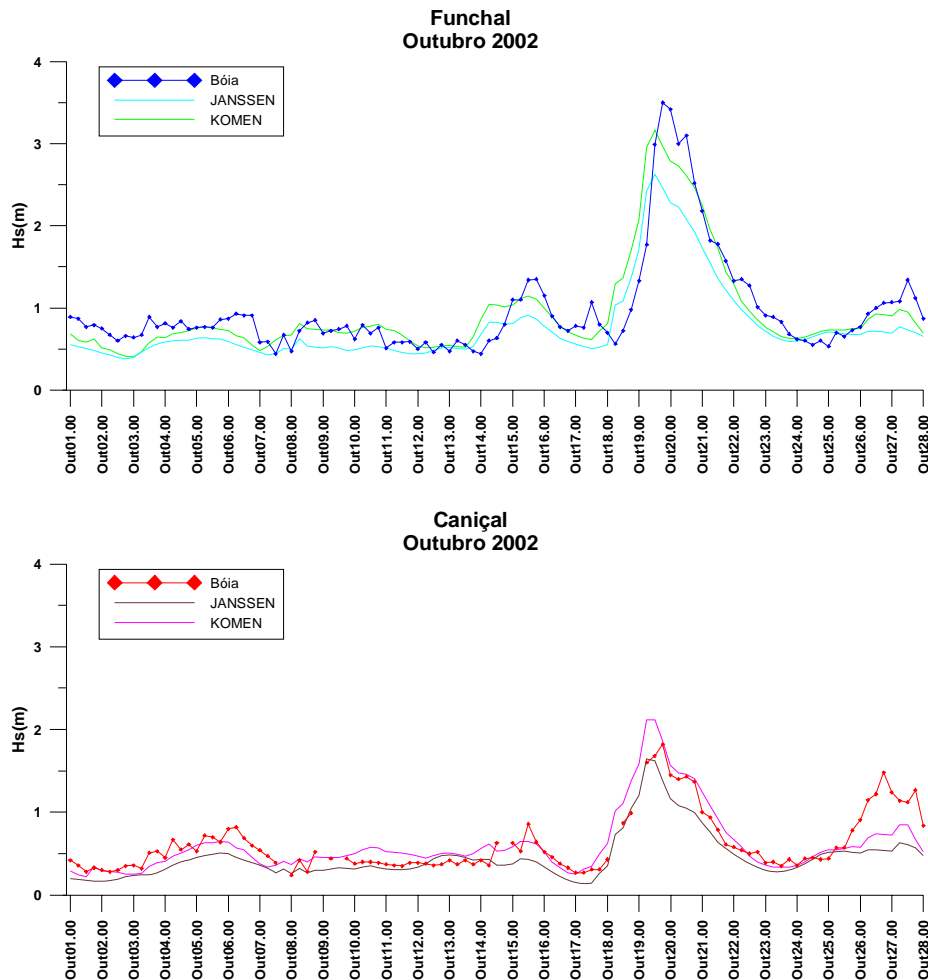


Figura 17 – Comparação entre os valores de altura significativa da bóia e os resultados do SWAN para a formulação de KOMEN e JANSSEN.

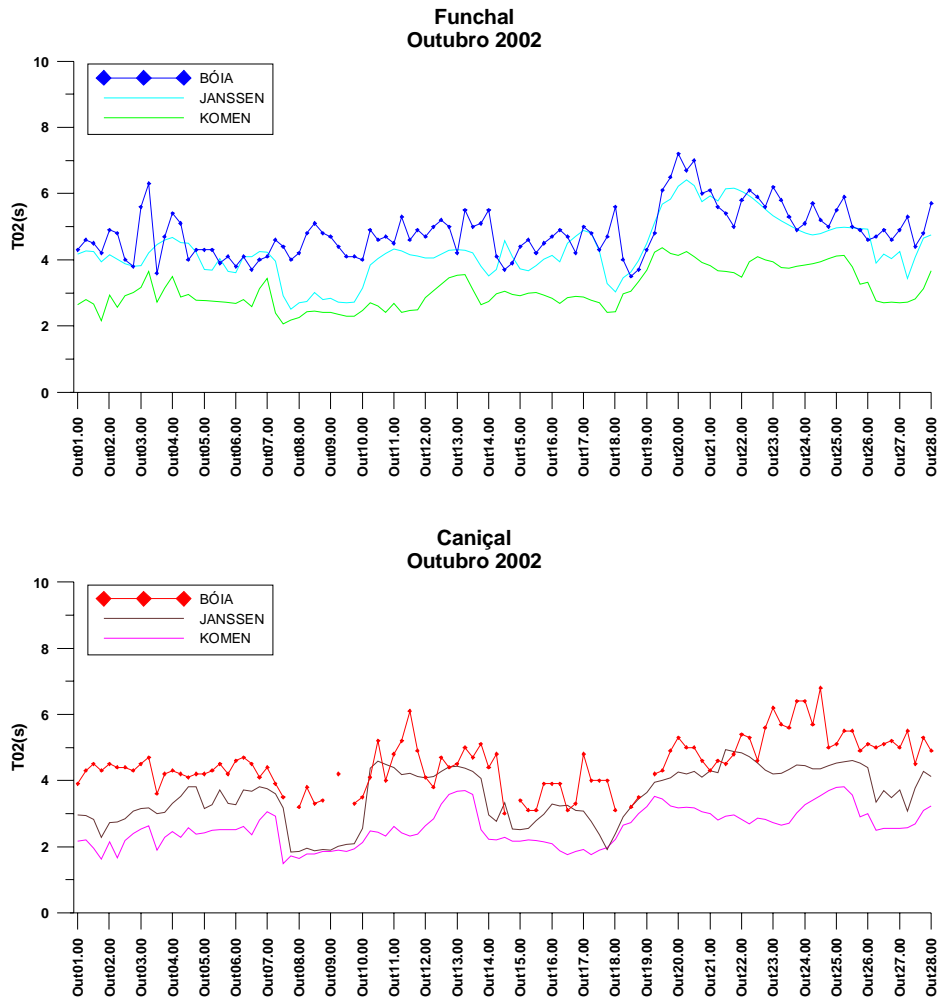
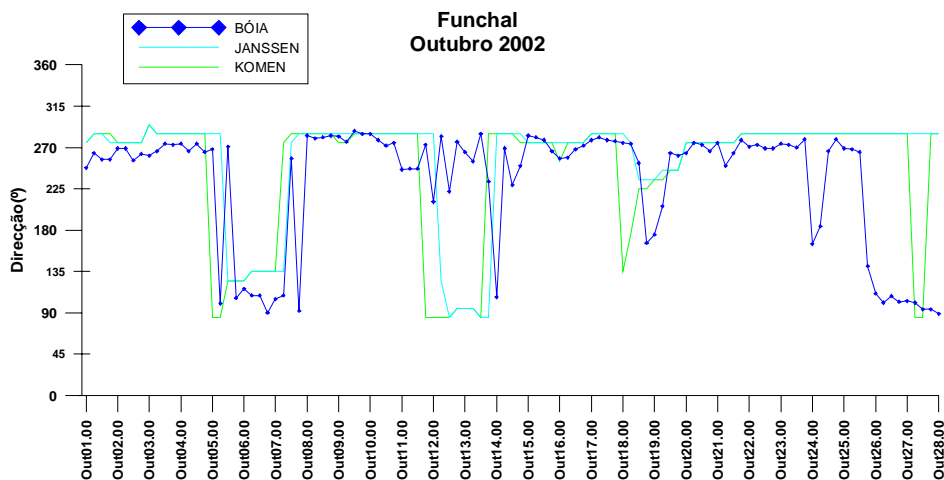


Figura 18 – Comparação entre os valores de período médio da bóia e os resultados do SWAN para a formulação de KOMEN e JANSSEN.



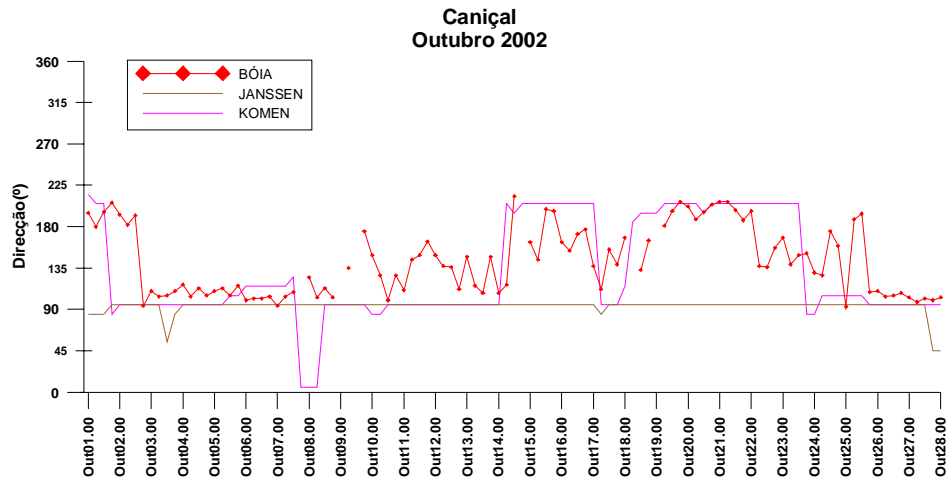


Figura 19 – Comparação entre os valores de Direcção associada ao período de pico da bóia e os resultados do SWAN para a formulação de KOMEN e JANSSEN.

Da análise das figuras, verifica-se que o modelo reproduz em ambas as estações, de um modo satisfatório, a altura significativa observada na bóia, apresentando a formulação de KOMEN um maior acordo com as observações.

No que diz respeito ao período médio (Figura 18) os resultados mostram claramente que a formulação de KOMEN o subestima de forma significativa. Pelo contrário, a formulação de JANSSEN apresenta um relativo bom acordo com os dados da bóia, especialmente no Funchal onde os resultados são sistematicamente mais consistentes.

Os resultados obtidos para a direcção associada ao período de pico são apresentados na figura 19. No caso do Funchal, os resultados apresentam uma razoável concordância, embora haja algumas variações rápidas nas observações que o modelo não consegue simular. Em relação ao Caniçal, os valores obtidos para a direcção na formulação de JANSSEN são pouco coincidentes com os da bóia. A formulação de KOMEN consegue na metade final do mês reproduzir de forma satisfatória as observações.

A altura significativa é bem reproduzida por ambas as formulações, tanto no Funchal como no Caniçal. Por sua vez o período médio é bem descrito apenas pela formulação de JANSSEN (especialmente no Funchal). Relativamente à direcção do período de pico, existe uma menor concordância com os valores da bóia, principalmente na formulação de JANSSEN, no Caniçal.

O desacordo da direcção do período de pico pode ter duas causas distintas: por um lado a direcção da agitação marítima observada no Sul da ilha da Madeira é bastante sensível à direcção incidente e por consequência às condições fronteira provenientes do modelo global WW3. De facto, tendo em conta a geografia da ilha uma variação de 20° na direcção incidente pode causar uma variação de 180° na costa sul. Por outro lado, a resolução considerada pelo modelo pode não ser suficiente para descrever a refracção extremamente intensa junta à costa devido ao elevado declive da batimetria. Pretende-se continuar esta análise implementando um modelo encaixado, com malhas de maior resolução.



4. Considerações finais

Os resultados apresentados constituem parte integrante de um estudo que está a ser desenvolvido no IH para caracterizar a agitação marítima na costa Sul da ilha da Madeira. Este objectivo foi prosseguido com base na informação obtida pelas estações ondógrafo do Funchal e Caniçal, bem como da simulação numérica do campo de agitação para a ilha da Madeira, através do SWAN.

Da análise dos dados, pode-se concluir que ambas as estações estão estreitamente correlacionadas. Estes resultados eram esperados, dado o facto de as duas estações se localizarem na costa Sul e a uma distância relativamente pequena. A direcção predominante no Funchal é Oeste enquanto que no Caniçal, devido à geometria da ilha, a ondulação incidente é proveniente do quadrante SE. A estação do Funchal apresenta alturas significativas superiores ao Caniçal. Os valores mais frequentes de altura significativa, para ambas as estações situam-se na classe de 0 a 0.5m com período médio de 4 a 6s. Verifica-se que no Funchal, ocorrências de alturas significativas superiores a 3m estão associadas apenas a direcções entre W e SW, perfazendo um total de 0.7%. No Caniçal, alturas significativas superiores a 3m são apenas 0.2%.

Os eventos extremos ocorrem, no Funchal, esporadicamente mas de forma sistemática nos meses de Inverno e nos meses de transição Abril e Setembro, podendo atingir valores de altura significativa até 5 metros. Sublinhe-se o facto do temporal com o valor mais elevado de altura significativa ter tido uma duração superior a dois dias.

Os resultados obtidos pelo modelo, mostram uma boa correlação para a altura significativa. Em relação ao período, ambas as formulações tendem a subestimar os dados da bóia, mas a formulação de JANSSEN apresenta melhores resultados, especialmente para o Funchal. Relativamente à direcção do período de pico, existe uma menor concordância com os valores da bóia. A formulação de KOMEN acompanha melhor as variações sentidas pela bóia.

O facto de a costa Sul se encontrar abrigada da ondulação proveniente do Atlântico Norte, do quadrante NW, torna-a menos energética que a costa Norte e sujeita a uma forte refacção, que o modelo não consegue resolver convenientemente. Espera-se conseguir melhores resultados com a implementação futura de malhas encaixadas, com maior resolução.

5. Referências

- Costa, M., Silva, R., Vitorino, J., Contribuições para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa, 2º JECP, Sines, 2001.
- Costa, M., Baptista, R., Russo, L., Vinte anos de Agitação Marítima na Costa Portuguesa, 3º JECP, Aveiro, 2003.
- Booji, N., Ris, R.C. and Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions – 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104, 7649 – 7666.
- Tolman, H.L., (1999). User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 1.18. Tech. Note 166, NOAA/NWS/NCEP/OMB, 99 PP.
- Rogers, W. E., (2005). Validation of three sub-regional-scale, wave-forecasting systems created by the naval research laboratory for the national weather service coastal storms programs, Oceanography Division, Naval Research Laboratory, Stennis Space Center, MS.