



# **Universidade de Évora**

**Mestrado em Ciências da Terra da Atmosfera e do Espaço**

*Especialização em Física da Atmosfera e do Clima*

**Dissertação**

**Caracterização da agitação marítima no arco litoral Tróia-Sines e sua  
relação com o padrão morfodinâmico da praia emersa**

Nuno Gonçalo Rufino Zacarias

**Orientador:**

**Cristina Maria Pinto Gama Castro Pereira**

**Co-orientador:**

**José Paulo Ferreira Pinto**

29 de Dezembro de 2011

**Mestrado em Ciências da Terra da Atmosfera e do Espaço**  
*Especialização em Física da Atmosfera e do Clima*

**Dissertação**

**Caracterização da agitação marítima no arco litoral Tróia-Sines e sua  
relação com o padrão morfodinâmico da praia emersa**

Nuno Gonçalo Rufino Zacarias

**Orientador:**

**Cristina Maria Pinto Gama Castro Pereira**

**Co-orientador:**

**José Paulo Ferreira Pinto**

## **Resumo**

### **Caracterização da agitação marítima no arco litoral Tróia-Sines e sua relação com o padrão morfodinâmico da praia emersa.**

Na presente dissertação procedeu-se ao estudo da agitação marítima, para a área que compreende todo o Arco Litoral Tróia-Sines. Estudou-se a agitação marítima ao largo e junto à linha de costa utilizando registos da bóia ondógrafo de Sines e resultados das simulações do modelo SWAN, utilizando os modelos ALADIN e Meso-NH como forçamento atmosférico. Para o estudo do padrão morfológico da praia emersa foram usados os dados de três campanhas de campo, Maio e Novembro de 2009 e Maio de 2010, realizadas no âmbito do projecto INSHORE. Verificou-se que a agitação marítima é fortemente condicionada pelos principais elementos fisiográficos (Cabo Espichel, Banco do Cambalhão, Canhão de Setúbal e Cabo de Sines) existentes na área de estudo. As características da agitação que antecede cada uma das campanhas, permitiram compreender as principais variações no padrão morfológico da praia emersa, descrito pela variação da largura da praia emersa e da cota da berma frontal.

## **Abstract**

### **Wave characterization for the Tróia-Sines Embayed Coast and its influence in the sub-aerial beach morphodynamic pattern.**

In order to characterize the wave conditions along the Tróia-Sines Embayed Coast, a wave study was performed using the observations obtained by the Sines wave buoy and from the simulations of the numerical model SWAN, using ALADIN and Meso-NH models to describe the wind characteristics. The subaerial beach morphology was evaluated considering the data obtained from three campaigns of INSHORE project, May and November of 2009 and May of 2010. The final results points that the nearshore wave conditions are severely influenced by the physiographic units of this region (Cape Espichel, Cambalhão bank, Setúbal submarine canyon and Sines Cape). The analysis of the wave conditions that precede each field campaign, allowed the evaluation of the main morphological changes in the sub-aerial beach, reflected in the variation of the beach width and in the berm elevation.

## **Agradecimentos**

Dedico este trabalho à minha Mãe, pela força que tem tido nestes últimos anos e pela grande mulher e mãe que é.

Gostaria de agradecer a todos os que me acompanharam e apoiaram na realização deste trabalho.

Aos meus pais por me terem incentivado e serem o meu porto de abrigo.

A Vânia Rodrigues pela compreensão e incentivo.

À Professora Doutora Cristina Gama e Doutor José Paulo Pinto pela disponibilidade no esclarecimento de dúvidas, pelo estímulo e atenção permanente, como orientadores.

Ao Professor Doutor Rui Salgado pela sua disponibilidade e colaboração.

Uma palavra de agradecimento especial ao amigo e colega Francisco Silva pelo apoio e disponibilidade para me ajudar no que fosse preciso.

A todos os colegas da Divisão de Oceanografia do Instituto Hidrográfico, pelos conselhos, críticas e incentivos.

Ao Instituto Hidrográfico, pelo apoio e pela cedência das condições necessárias à realização deste trabalho.

## Índice

<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>CAPITULO I INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITULO II ENQUADRAMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>3</b>
II.1. ONDAS .....	3
II.2. PROPAGAÇÃO DAS ONDAS NO OCEANO .....	6
II.2.1. Teoria Linear das Ondas .....	6
II.2.2. Transformação das Ondas .....	9
II.3. SWAN – (SIMULATING WAVES NEARSHORE) .....	14
<b>CAPITULO III CARACTERIZAÇÃO DO ARCO LITORAL TRÓIA-SINES (ALTS)</b> .....	<b>16</b>
<b>CAPITULO IV AGITAÇÃO MARÍTIMA</b> .....	<b>18</b>
IV.1. AGITAÇÃO MARÍTIMA NA BÓIA DE SINES (REGISTOS NA BÓIA DE SINES) .....	20
IV.1.1. Situações de Temporal (Bóia de Sines) .....	27
IV.2. CLIMA DE AGITAÇÃO MARÍTIMA NO ALTS (SWAN) .....	30
IV.2.1. Simulação utilizando o modelo de previsão SWAN .....	30
IV.2.2. Validação do modelo .....	35
IV.2.3. Padrão da agitação marítima ao largo do ALTS tendo por base as simulações do modelo SWAN	38
IV.2.3.1. Período total de estudo .....	38
IV.2.3.2. Períodos de temporal .....	43
IV.2.3.3. Geração de agitação local .....	47
<b>CAPITULO V ZONA DE REBENTAÇÃO DO ALTS</b> .....	<b>53</b>
V.1. AGITAÇÃO NA ZONA DE REBENTAÇÃO .....	58

V.1.1.	<i>Agitação na Zona de Rebentação entre campanhas de campo (Projecto INSHORE).</i>	59
V.1.2.	<i>Agitação na Zona de Rebentação em períodos de temporal.....</i>	62
<b>CAPITULO VI    RELAÇÃO ENTRE A AGITAÇÃO MARÍTIMA E O PADRÃO MORFOLÓGICO DA PRAIA EMERSA.....</b>		<b>67</b>
VI.1.	PADRÃO MORFOLÓGICO DA PRAIA EMERSA (PROJECTO INSHORE).....	67
VI.2.	INFLUÊNCIA DA AGITAÇÃO MARÍTIMA NO PADRÃO MORFOLÓGICO DA PRAIA EMERSA	72
<b>CAPITULO VII    CONCLUSÃO .....</b>		<b>81</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>		<b>84</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>I</b>
ANEXO I – HISTOGRAMAS POLARES PARA OS PONTOS OFF-SHORE (DADOS DO MODELO SWAN).....		II
ANEXO II – HISTOGRAMAS DE BARRAS PARA OS PONTOS OFF-SHORE (DADOS DO MODELO SWAN).....		VII
ANEXO III – SÉRIES TEMPORAIS COM A EVOLUÇÃO TRANSVERSAL DOS PARAMETROS DE AGITAÇÃO Hs E Dp AO LONGO DO ALTS .....		XI
ANEXO IV – FLUXO LONGITUDINAL DE ENERGIA DAS ONDAS E VELOCIDADE LONGITUDINAL.....		XXI
ANEXO V – FICHEIROS IN-PUT PARA AS SIMULAÇÕES DO MODELO SWAN. ....		XXIX

## Índice de Figuras

Figura I.1 – Península de Tróia (foto de Alexandre Almeida ( <a href="http://www.portinhodivers.com/troia.htm">http://www.portinhodivers.com/troia.htm</a> )).	2
Figura II.1 – Parâmetros básicos para descrever uma onda de superfície (Fonte: <a href="http://www.fgg.uni-lj.si/kmk/esdep/master/wg15a/10200.htm">http://www.fgg.uni-lj.si/kmk/esdep/master/wg15a/10200.htm</a> ).	3
Figura II.2 – Deformação da onda induzida pela pressão do vento (Holthuijsen L., 2007).	4
Figura II.3 – Cenário A – zona de geração longe da costa, o que levará à formação de ondulação; Cenário B – zona de geração perto da costa, o que levará à formação de swell (adaptado de Sanzana, 2009).	5
Figura II.4 – Refracção de ondas provocada pela batimetria ( <a href="http://meted.ucar.edu">http://meted.ucar.edu</a> ).	9
Figura II.5 – Difraccção, podemos observar o efeito de difracção que o navio provoca na propagação das ondas ( <a href="http://meted.ucar.edu">http://meted.ucar.edu</a> ).	10
Figura II.6 – Empolamento das ondas provocado pela batimetria ( <a href="http://meted.ucar.edu">http://meted.ucar.edu</a> ).	11
Figura II.7 – Tipos de rebentação das ondas (Holthuijsen, 2007).	13
Figura III.1 – Localização (A) e Batimetria (B) do Arco litoral Tróia-Sines e plataforma continental adjacente.	16
Figura IV.1 – Bóia Ondógrafo e Sines (foto: Nuno Zacarias).	18
Figura IV.2 – Período de registos válidos para a bóia de Sines (a verde registos de 2009 e a laranja registos de 2010).	20
Figura IV.3 – Valores médios mensais para a altura significativa. A azul valores médios mensais para o período de estudo. A rosa valores médios mensais utilizando uma série de 20 anos (1988-2008) (adaptado de Costa, <i>et al.</i> (2008)).	22
Figura IV.4 – Valores médios mensais para o período médio ( $t_{02}$ ) à esquerda e período de pico ( $t_p$ ) à direita. A azul valores médios mensais para o período de estudo. A rosa valores médios mensais utilizando uma série de 20 anos (1988-2008) (adaptado de Costa, <i>et al.</i> (2008)).	22
Figura IV.5 – Histograma para a direcção de pico. A azul valores ocorrências para o período de estudo. A rosa valores ocorrências utilizando uma série de 20 anos (1988-2008) (adaptado de Costa, <i>et al.</i> (2008)).	23
Figura IV.6 – Classes de direcção utilizadas nos histogramas polares.	24
Figura IV.7 – Distribuição de frequência relativa para $H_s$ (cinza) e $T_p$ (preto).	24
Figura IV.8 – Histogramas polares de $H_s/D_p$ (esquerda) e $T_p/D_p$ (direita).	25



Figura IV.9 – Histogramas polares de Hs/Dp (esquerda) e Tp/Dp (direita) para os períodos de Inverno (em cima) e Verão (em baixo). .....	26
Figura IV.10 – Histogramas polares de Hs/Dir (esquerda) e Tp/Dir (direita) para os períodos de temporal registados na bóia de Sines. ....	28
Figura IV.11 – Gráfico da direcção (vermelho) e altura significativa (azul) para os períodos de temporal (cinza período de Verão e branco período de Inverno). ....	29
Figura IV.12 – Exemplo do modelo WAVEWATCH III e pontos onde foram retiradas as condições fronteira para correr o modelo SWAN_1. ....	30
Figura IV.13 – Exemplo da simulação do campo de ventos usando o modelo de ventos ALADIN (01-01-2010 00:00). ....	31
Figura IV.14 – Períodos dos levantamentos dos dados batimétricos utilizados na simulação da agitação marítima com o modelo de previsão SWAN (Instituto Hidrográfico). ....	32
Figura IV.15 – Grelhas espaciais utilizadas nas simulações do SWAN. ....	33
Figura IV.16 – Diagrama de dispersão das alturas significativas registadas na bóia de Sines com as alturas significativas obtidas a partir do modelo na posição da bóia de Sines. São apresentadas as rectas de regressão linear obtidas para a distribuição dos pontos, passando pela origem (azul) e a recta de melhor ajuste não passando pela origem (vermelho). ....	36
Figura IV.17 – Séries temporais dos dados da bóia de Sines (vermelho) e da simulação do SWAN para a posição da bóia de Sines (azul). Reconstituição total da serie estudada (rosa). ....	37
Figura IV.18 – Localização dos pontos utilizados para caracterizar a agitação marítima ao longo do ALTS. ....	39
Figura IV.19 – Diagramas polares de altura significativa para os pontos off-shore. Os pontos estão representados de Norte para Sul. A – pontos P1, P2, P3, e P5; B – pontos P5, P4, P6 e P8; C – pontos P8, P9, P10 e P11. ....	42
Figura IV.20 – Classes de altura significativa para os temporais provenientes do quadrante Oeste – Norte (à direita) e do quadrante Oeste – Sul (à esquerda). ....	44
Figura IV.21 – Classes de período de pico para os temporais provenientes do quadrante Oeste – Norte (à direita) e do quadrante Oeste – Sul (à esquerda). ....	44
Figura IV.22 – Representação da área para uma situação extrema de temporal proveniente de Sudoeste (à esquerda) e uma situação extrema de temporal proveniente de Noroeste (à direita). ....	46
Figura IV.23 – Geração de agitação local no ALTS. Imagem A representa o campo de ventos obtido através do modelo ALADIN (setas amarelas), a direcção de pico (setas azuis) e altura significativa obtidos	

através de simulação. Imagem B representa o campo de ventos obtido através do modelo Meso-NH (setas amarelas), a direcção de pico (setas azuis) e altura significativa obtidos através de simulação..... 49

Figura IV.24 – Altura significativa (Hs) na posição da bóia ondógrafo de Sines. A linha vermelha representa os dados da simulação utilizando o campo de ventos do modelo Meso-NH. A linha verde representa os dados da simulação utilizando o campo de ventos do modelo ALADIN. A linha azul representa os valores registados na bóia ondógrafo de Sines. .... 51

Figura IV.25 – Diagramas de dispersão para a altura significativa da simulação usando o campo de ventos obtido com o ALADIN versus altura significativa da simulação usando o campo de ventos obtido com o Meso-NH. .... 51

Figura IV.26 – Percentagens de ocorrências mensais de geração de agitação local para cada ponto off-shore. .... 52

Figura V.1 – Localização dos pontos utilizados para caracterizar a agitação marítima junto à linha de costa..... 54

Figura V.2 – Altura significativa (azul) e Profundidade (castanho) para uma distância de 500 m até à linha de costa na latitude dos dezasseis pontos de output da simulação SWAN\_2 para o dia 30-12-2009 às 00:00h..... 56

Figura V.3 – Valores médios para a profundidade na rebentação e distância da rebentação à linha de costa para os 16 pontos considerados ao longo do ALTS. .... 57

Figura V.4 – Classes de altura significativa (à esquerda) e período de pico (à direita) para os pontos na zona de rebentação. .... 58

Figura V.5 – Alturas significativas médias para os períodos que antecederam as campanhas de campo ao longo do ALTS (Linha azul: de 01 Janeiro a 18 Maio de 2009; Linha verde: de 29 Maio a 29 Outubro de 2009; Linha vermelha: de 11 Novembro de 2009 a 20 de Maio de 2010). .... 60

Figura V.6 – Períodos de pico médios para os períodos que antecederam as campanhas ao longo do ALTS (Linha azul: de 01 Janeiro a 18 Maio de 2009; Linha verde: de 29 Maio a 29 Outubro de 2009; Linha vermelha: de 11 Novembro de 2009 a 20 de Maio de 2010). .... 60

Figura V.7 – Valores médios mensais de  $\alpha$  para os pontos na zona de rebentação ao longo do ALTS. .... 61

Figura V.8 – Classes de altura significativa (à esquerda) e período de pico (à direita) para os temporais provenientes do quadrante Oeste – Norte. .... 62

Figura V.9 – Classes de altura significativa (à esquerda) e período de pico (à direita) para os temporais provenientes do quadrante Oeste – Sul. .... 63

Figura V.10 – Altura significativa média para as tempestades provenientes do quadrante W - N ao longo do ALTS.....	64
Figura V.11 – Altura significativa média para as tempestades provenientes do quadrante W - S ao longo do ALTS.....	64
Figura V.12 – Modelo conceptual para a influência dos elementos fisiográficos na agitação marítima. A linha azul delimita a faixa costeira sob influência do Banco do Cambalhão; A linha vermelha delimita a faixa costeira sob influência do Canhão de Setúbal; O tracejado verde-claro, delimita a faixa costeira sob forte influência do Cabo Espichel; O tracejado verde-escuro, delimita a faixa costeira sob fraca influência do Cabo Espichel; A linha roxa delimita a faixa costeira sob influencia do Cabo de Sines.....	66
Figura VI.1 – Excerto da malha de levantamento realizada pelo protótipo INSHORE. A verde é identificado o trajecto da moto4, a vermelho os perfis transversais obtidos a partir da aplicação extensão Digital Shoreline Analysis System (DSAS). Dados inéditos e não publicados obtidos no âmbito do projecto INSHORE. ....	68
Figura VI.2 – Variação longitudinal da largura da praia emersa (cota 2m) e variação longitudinal da cota da berma frontal (MLS), ao longo do ALTS. Dados inéditos e não publicados obtidos no âmbito do projecto INSHORE. ....	71
Figura VI.3 – Diagramas polares de altura significativa (Hs) e Período de Pico (Tp) para os períodos antes das campanhas do Projecto INSHORE na boia ondógrafo de Sines. ....	74
Figura VI.4 – Evolução da largura da praia e da cota da berma entre campanhas do Projecto INSHORE ao longo do ALTS (Dados inéditos e não publicados). Diferenças da Velocidade longitudinal e Fluxo longitudinal de energia das ondas entre campanhas do Projecto INSHORE ao longo do ALTS.....	77
Figura VI.5 – Modelo conceptual da influência da agitação marítima no padrão morfológico apresentado pela praia emersa no período de estudo. A linha azul – faixa costeira sob influência do Banco do Cambalhão; A linha vermelha – faixa costeira sob influência do Canhão de Setúbal; Linha a tracejado verde-claro – faixa costeira sob forte influência do Cabo Espichel; Linha a tracejado verde-escuro – faixa costeira sob fraca influência do Cabo Espichel; A linha roxa – faixa costeira sob influência do Cabo de Sines. O gráfico da direita mostra o padrão da variação longitudinal da largura da praia e cota da berma frontal (dados inéditos e não publicados obtidos no âmbito do projecto INSHORE). ....	80

## Índice de Tabelas

<i>Tabela IV.1 – Percentagens de Registos válidos para a bóia de Sines.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabela IV.2 – Períodos de temporal registados na bóia de Sines.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabela IV.3 – Ocorrência de temporais, por classes de altura significativa e de direcção.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabela IV.4 – Ocorrência de temporais, por classes de altura significativa e de duração. ....</i>	<i>28</i>
<i>Tabela IV.5 – Parâmetros das grelhas computacionais utilizadas nas simulações do SWAN. ....</i>	<i>34</i>
<i>Tabela IV.6 – Localização dos pontos utilizados para caracterizar a agitação marítima no ALTS (pontos ordenados de norte para sul). ....</i>	<i>38</i>
<i>Tabela IV.7 – Parâmetros estatísticos de altura significativa, altura de Swell e período de pico para os pontos utilizados na caracterização da agitação marítima no ALTS. ....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela IV.8 – Temporais identificados para o período de 01 Fevereiro de 2009 a 01 Junho de 2010. A escuro são representados os temporais identificados a partir das simulações do modelo SWAN. .</i>	<i>43</i>
<i>Tabela V.1 – Localização dos pontos utilizados para caracterizar a agitação marítima junto à linha de costa (pontos ordenados de norte para sul). ....</i>	<i>53</i>
<i>Tabela V.2 – Declives do fundo na faixa de rebentação para os pontos de output da simulação SWAN_2. ....</i>	<i>55</i>
<i>Tabela VI.1 – Valores de altura significativa mediana anual (<math>H_{50}</math>), desvio padrão da altura significativa média anual (<math>\sigma_{Hs}</math>) e profundidade de fecho <math>d_c</math> para os dezasseis pontos escolhidos na zona de rebentação.....</i>	<i>79</i>

## Lista de Símbolos

- $a$  - Amplitude da onda
- $c$  - Velocidade da onda em águas pouco profundas
- $c_0$  - Velocidade da onda em águas profundas
- $c_g$  - Velocidade de grupo das ondas
- $c_x$  - Velocidade de propagação em  $x$
- $c_y$  - Velocidade de propagação em  $y$
- $c_\theta$  - Velocidade de propagação no domínio da direcção
- $c_\sigma$  - Velocidade de propagação no domínio da frequência
- $d$  - Profundidade
- $d_c$  - Profundidade de fecho
- $Dp$  - Direcção de pico
- $E$  - Densidade de energia
- $f$  - Frequência
- $g$  - Aceleração da gravidade
- $H$  - Altura da onda
- $H_0$  - Altura da onda em águas profundas
- $h_0$  - Média da profundidade da água na rebentação
- $H_{50}$  - Altura significativa mediana da anual
- $H_b$  - Altura da onda na rebentação
- $H_s$  - Altura significativa da onda
- $k$  - Numero de onda
- $L$  - Comprimento de Onda
- $L_0$  - Comprimento de onda em águas profundas
- $N$  - Densidade de acção espectral
- $Pl$  - Fluxo longitudinal da energia das ondas
- $S_{ds}$  - Dissipação de energia das ondas
- $S_{ds,b}$  - Dissipação de energia por atrito de fundo
- $S_{ds,br}$  - Dissipação de energia por rebentação induzida pelo fundo
- $S_{ds,w}$  - Dissipação de energia por rebentação parcial
- $S_{in}$  - Crescimento das ondas provocado pelo vento

- $S_{nl}$  - *Interacções entre grupos de ondas*
- $T$  - *Período da onda*
- $T_{02}$  - *Período médio*
- $T_p$  - *Período de pico*
- $u_m$  - *Valor máximo da velocidade orbital horizontal na zona de rebentação*
- $V_l$  - *Velocidade longitudinal*
- $\alpha$  - *Ângulo de incidência da onda*
- $\gamma$  - *Índice de rebentação*
- $\zeta$  - *Elevação da superfície do mar*
- $\theta$  - *Direcção*
- $\xi$  - *Número de Iribarren*
- $\rho_w$  - *Densidade da água*
- $\sigma$  - *Frequência intrínseca*
- $\sigma_{Hs}$  - *Desvio padrão da altura significativa média anual*
- $\omega$  - *Frequência angular da onda*

## **CAPITULO I                      Introdução e Objectivos**

A realização deste trabalho insere-se no plano curricular do mestrado em Ciências da Terra da Atmosfera e do Espaço, ramo de Física da Atmosfera e do Clima da Universidade de Évora.

Sabe-se que a variação morfológica e sedimentar observada na linha de costa descreve o padrão do transporte sedimentar de um troço costeiro. Esta dinâmica sedimentar depende da actividade de vários agentes forçadores como as marés, o vento e as ondas (agitação marítima). De todos estes, o agente com maior capacidade de transporte são as ondas. Estas modelam fortemente as zonas litorais mais expostas à agitação marítima, sendo responsáveis por quase toda a remobilização sedimentar da qual resulta a erosão, o transporte e deposição de sedimentos.

Os principais objectivos do presente trabalho visaram: i) a caracterização da agitação marítima ao largo e junto à linha de costa do Arco Litoral Tróia-Sines (ALTS), usando o modelo de ondas SWAN (Simulating WAVes Nearshore) em modo não estacionário e para o período compreendido entre Janeiro de 2009 e Maio de 2010; ii) analisar o efeito da discriminação do campo de ventos obtido através dos modelos atmosféricos ALADIN (Aire Limitée Adaptacion Dynamique développement Initialisation) e MesoNH, nos resultados das simulações do SWAN e iii) relacionar a agitação marítima com o padrão morfológico apresentado pela praia emersa ao longo do ALTS e descrito pela variação longitudinal da largura da praia e da cota da berma frontal. Numa fase inicial a caracterização da agitação marítima foi feita com base nos registos da bóia ondógrafo de Sines e nos dados de agitação obtidos através de simulações com o modelo SWAN (Simulating WAVes Nearshore). O padrão morfológico da praia emersa foi descrito através dos resultados obtidos em três campanhas, Maio de 2009, Novembro de 2009 e Maio de 2010 e cedidos para o presente trabalho. Estas campanhas decorreram no âmbito do Projecto INSHORE (INtegrated System for High Operational REsolution in Shore Monitorization) – “Sistema Integrado de Alta Resolução Operacional para a Monitorização de Praias “- Project FCT PTDC/AMB/73169/2006.).

Este trabalho encontra-se organizado em sete capítulos principais de modo a facilitar a descrição das tarefas executadas ao longo do desenvolvimento da investigação realizada. No segundo capítulo descreve-se o enquadramento teórico, respeitante à Teoria das Ondas de forma a interpretar os resultados obtidos. No terceiro descreve-se a área de estudo. No quarto capítulo caracteriza-se a agitação marítima ao largo do ALTS. Numa primeira fase a caracterização é feita tendo por base os registos da bóia ondógrafo de Sines, depois é feita a caracterização da agitação ao longo do ALTS tendo por base os dados obtidos pelas simulações do modelo de ondas SWAN. Neste capítulo são ainda descritos os diferentes domínios usados nas simulações do modelo SWAN. No quinto capítulo é feita a caracterização da agitação na zona de rebentação ao longo do ALTS. No sexto capítulo é descrita a relação da agitação marítima com o padrão morfológico da praia emersa ao longo do ALTS. No sétimo e último capítulo abordam-se as conclusões mais importantes.



**Figura I.1 – Península de Tróia (foto de Alexandre Almeida  
(<http://www.portinhodivers.com/troia.htm>)).**



## CAPITULO II      Enquadramento Teórico

### II.1. Ondas

Para se proceder à caracterização da agitação marítima é fundamental entender os princípios básicos da sua geração. É por isso essencial conhecer os parâmetros que descrevem as ondas bem como a sua geração no oceano. Na Figura II.1 estão esquematizados os principais parâmetros. A distância horizontal entre duas cavas ou duas cristas consecutivas é designado por comprimento de onda ( $L$ ). A distância vertical duma cava à crista é a altura da onda ( $H$ ). Amplitude ( $A$ ) é a distância de uma crista ou cava ao ponto de equilíbrio. O intervalo de tempo compreendido entre a passagem de duas cristas sucessivas por um ponto fixo é o período ( $T$ ). A razão entre o comprimento de onda e o período descreve a velocidade de fase da onda  $c$ . A razão entre a altura da onda e o comprimento de onda denomina-se por declividade da onda ( $H/L$ ). Em Oceanografia utiliza-se o parâmetro  $H_s$  que significa a média do terço mais elevado das alturas de onda que foram registadas durante o período de observação (Brown *et al.*, 1989).

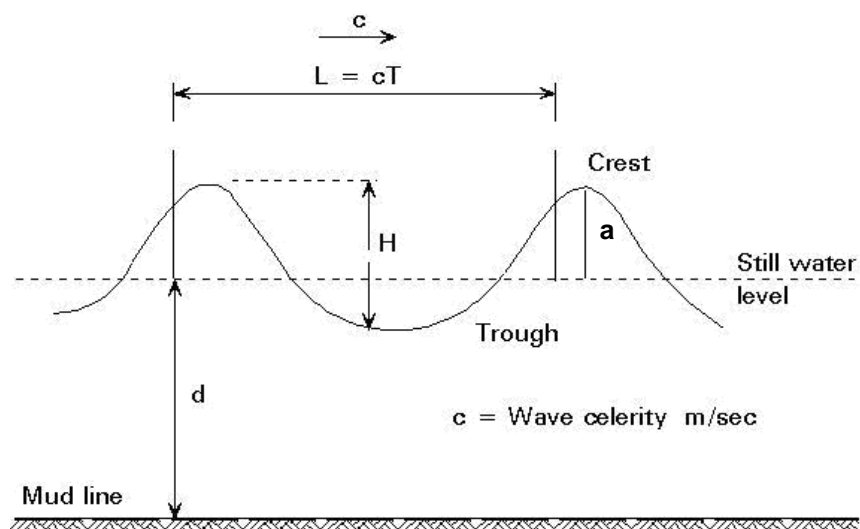
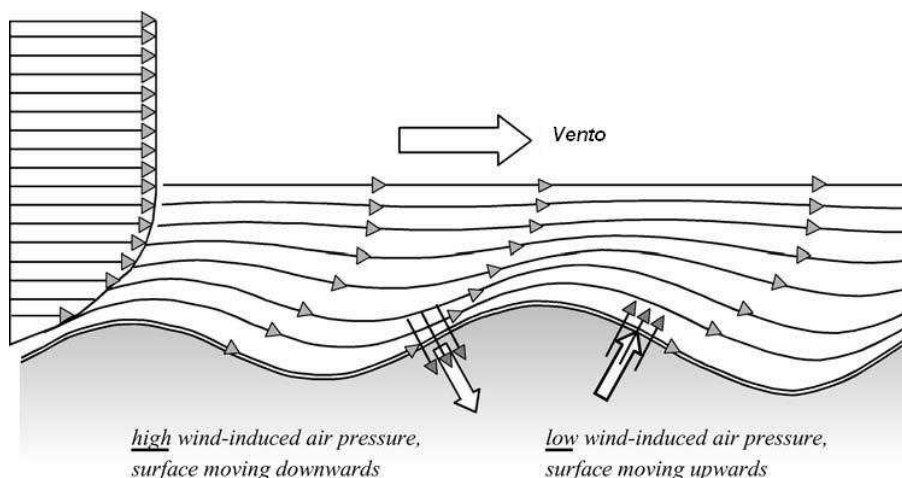


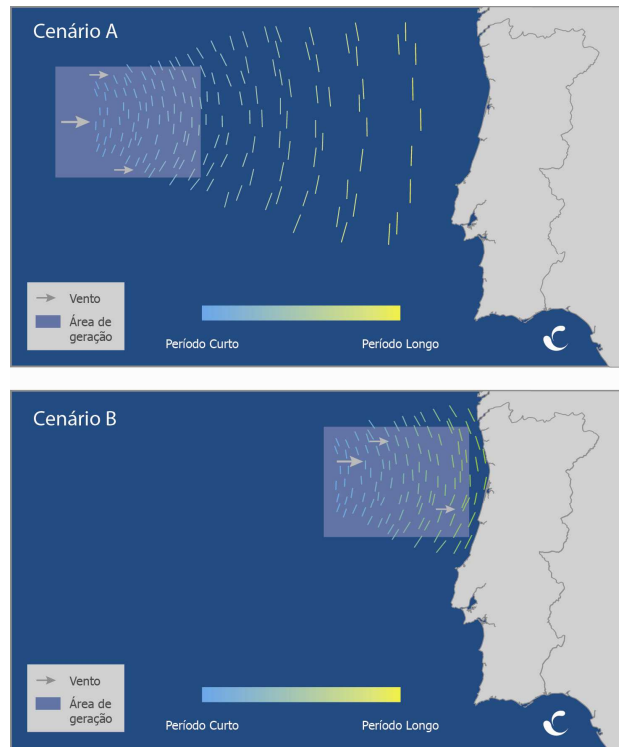
Figura II.1 - Parâmetros básicos para descrever uma onda de superfície (Fonte: <http://www.fgg.uni-lj.si/kmk/esdep/master/wg15a/10200.htm>).

No oceano aberto são geradas vários tipos de ondas tendo em conta as fontes de energia que as geram e mantêm. As ondas mais comuns e que são mais fáceis de observar são as ondas de superfície. São geradas pela interacção entre o vento e a superfície do mar. O vento ao fazer-se sentir na superfície do mar provoca flutuações de pressão, o que produz pequenas ondas com comprimentos de onda quase insignificantes. A acção do vento contra estas pequenas ondas provoca variações de pressão ao longo do perfil de onda, o que faz com que estas aumentem (Figura II.2). As diferenças de pressão aumentam cada vez mais originando um maior crescimento das ondas.



**Figura II.2 – Deformação da onda induzida pela pressão do vento (Holthuijsen L., 2007).**

Podemos encontrar dois tipos de ondas gravíticas no oceano, vaga (sea) e ondulação (Swell) como mostra o esquema da Figura II.3. Vaga são as ondas de curto período com aspecto altamente irregular e que se encontram na área de geração ou muito próximo dela. Possuem uma declividade maior e uma direcção não comum a todas as ondas mas com uma resultante aproximadamente igual à do vento. O Swell é caracterizado por um período mais elevado com aspecto regular. As cristas possuem um declive baixo e a direcção é praticamente a mesma em todas as ondas. Estas ondas encontram-se fora da área de geração e longe da influência dos ventos que as geraram. Junto á costa podemos observar ondulação, cenário A da Figura II.3 ou vaga, cenário B.



**Figura II.3 – Cenário A – zona de geração longe da costa, o que levará à formação de ondulação; Cenário B – zona de geração perto da costa, o que levará à formação de swell (adaptado de Sanzana, 2009).**

## II.2. Propagação das Ondas no Oceano

### II.2.1. Teoria Linear das Ondas

Os processos de geração e propagação de ondas no oceano traduzem-se numa não linearidade que torna a equação de movimento difícil de resolver. Para conseguir encontrar uma solução, é necessário assumir várias simplificações. A teoria mais utilizada é a Teoria Linear das Ondas utilizada por vários autores, entre eles Komar (1976). Assume-se que a amplitude das ondas é infinitamente pequena quando comparada com a profundidade. Por consequência a superfície do mar é quase plana. Para simplificar, consideram-se os seguintes pressupostos:

- Fluido Homogéneo e incompressível;
- A tensão superficial pode ser ignorada;
- Os efeitos da força de Coriolis, devido a rotação da terra, não são considerados;
- A pressão na superfície livre é uniforme e constante;
- O fluido é ideal ou não viscoso;
- A onda particular considerada não interage com nenhum outro movimento da água.

Com estes pressupostos, a elevação da superfície do mar  $\zeta$  de uma onda viajando na direção  $x$  é:

$$\zeta = a \sin(kx - \omega t), \quad (2.1)$$

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}; \quad k = \frac{2\pi}{L}, \quad (2.2)$$

onde  $a$  é a amplitude,  $\omega$  é a frequência angular em radianos por segundo,  $f$  é a frequência em Hertz,  $k$  o número de onda,  $T$  o período e  $L$  é o comprimento de onda. O número de onda  $k$  e a frequência  $\omega$  relacionam-se através da relação de dispersão:

$$\omega^2 = gk \tanh(kd), \quad (2.3)$$

onde  $d$  é a profundidade e  $g$  é a aceleração da gravidade. Existem duas aproximações muito úteis nesta fase:

- A aproximação é válida, se em águas profundas a profundidade  $d$  é muito maior que o comprimento de onda  $L$ . Nesse caso,  $d \gg L$ ,  $kd \gg 1$ , e  $\tanh(kd) = 1$ .
- A aproximação é válida, se em águas pouco profundas a profundidade  $d$  é muito menor que o comprimento de onda  $L$ . Nesse caso,  $d \ll L$ ,  $kd \ll 1$ , e  $\tanh(kd) = kd$ .

Nestes dois casos acima referidos, a relação de dispersão reduz-se a:

$$\omega^2 = gk, \quad \text{Águas Profundas} \quad (2.4)$$

$d > L/4$ ,

$$\omega^2 = gk^2 d, \quad \text{Águas pouco Profundas} \quad (2.5)$$

$d < L/11$ ,

Como referido em II.1 a velocidade de fase  $c$  define-se por:

$$c = \frac{\omega}{k}, \quad (2.6)$$

utilizando as aproximações da relação de dispersão temos:

$$c = \sqrt{\frac{g}{k}} = \frac{g}{\omega}, \quad \text{para águas profundas;} \quad (2.7)$$

$$c = \sqrt{gd}, \quad \text{para águas pouco profundas;} \quad (2.8)$$

Em águas profundas a velocidade de fase  $c$  depende da frequência, as ondas nestas regiões são dispersivas. Em águas pouco profundas a velocidade de fase  $c$  não depende das características da onda mas sim da profundidade, nestas regiões as ondas são não dispersivas.

Uma das formas de entender a propagação da energia das ondas no oceano é com o conceito de *Velocidade de grupo*  $c_g$ , é a velocidade de propagação da energia das ondas no oceano. A definição de velocidade de grupo em duas dimensões é:

$$c_g \equiv \frac{\partial \omega}{\partial k}, \quad (2.9)$$

através das aproximações da relação de dispersão temos:

$$c_g = \frac{g}{2\omega} = \frac{c}{2}, \quad \text{para águas profundas;} \quad (2.10)$$

$$c_g = \sqrt{gd} = c, \quad \text{para águas pouco profundas;} \quad (2.11)$$

Na realidade, nos oceanos as ondas movem-se em grupos segundo a relação de dispersão.

A densidade de energia das ondas em Joules por metro quadrado está relacionada com a variância da elevação da superfície do mar  $\zeta$  :

$$E = \rho_w g \langle \zeta^2 \rangle, \quad (2.12)$$

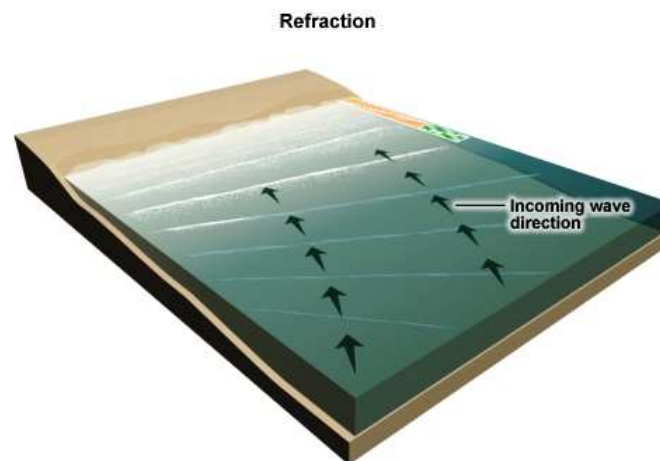
onde  $\rho_w$  é a densidade da água,  $g$  a aceleração da gravidade.

## ***II.2.2. Transformação das Ondas***

As ondas são geradas e propagam-se numa dada direcção até encontrarem uma barreira. A maioria das vezes essa barreira é a linha de costa. Neste caso a dado momento começam a sentir a influência do fundo, originando atrito entre este e o movimento orbital da água. Nessa altura a forma e direcção das ondas sofre modificações. A velocidade de propagação diminui, a declividade e direcção das cristas também se modificam. Essas mudanças originam o aparecimento de certos fenómenos físicos responsáveis pela transformação das ondas à medida que elas se aproximam da costa e sofrem o efeito dos contornos da batimetria de fundo.

- **Refracção**

À medida que as ondas se aproximam da costa, começa a fazer-se sentir o atrito do fundo nos parâmetros da onda. A velocidade da onda diminui bem como o comprimento de onda de modo que a sua crista tende a alinhar-se paralelamente à linha de costa (Komar, 1976).



**Figura II.4 – Refracção de ondas provocada pela batimetria (<http://meted.ucar.edu>).**

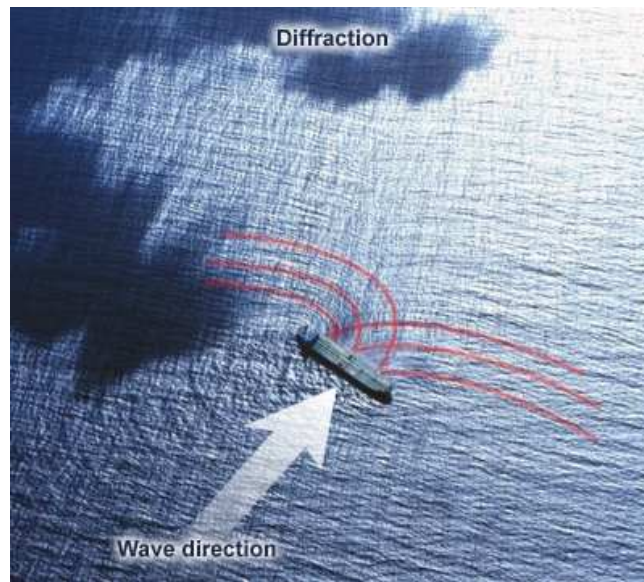
Este processo pode ser representado pela chamada Lei de *Snell*:

$$\frac{\sin \alpha}{c} = \frac{\sin \alpha_0}{c_0}, \quad (2.13)$$

onde  $c$  e  $c_0$  correspondem às velocidades da onda em águas pouco profundas e águas profundas, respectivamente, sendo  $\alpha$  o ângulo de incidência da onda.

- **Difracção**

A difracção é o fenómeno de transmissão lateral de energia durante a propagação das ondas. Tal pode ser devido à configuração da batimetria do fundo ou à existência de obstáculos, como por exemplo, ilhas, quebra mares e até navios como mostra a Figura II.5.



**Figura II.5 – Difracção, podemos observar o efeito de difracção que o navio provoca na propagação das ondas (<http://meted.ucar.edu>).**

- **Reflexão**

Quando a onda atinge uma superfície impermeável ou semi-impermeável não perde toda a sua energia, parte dela é reflectida de novo para o oceano. Este fenómeno depende das características físicas e da geometria do obstáculo (Pereira, 2008).



- **Empolamento**

Quando as ondas se aproximam de costa a profundidade diminui. A velocidade da onda varia em função da profundidade, neste caso a velocidade diminui. Como o fluxo energético tem de se manter constante, a altura da onda aumenta (Komar, 1976; Holthuijsen, 2007).

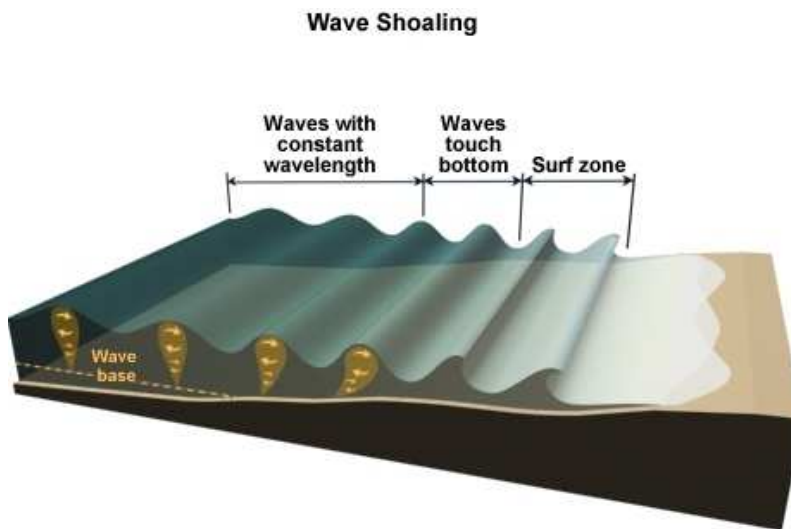


Figura II.6 – Empolamento das ondas provocado pela batimetria (<http://meted.ucar.edu>).

- **Rebentação**

A maioria de nós já assistiu á rebentação de ondas na praia e à violência com que por vezes esse fenómeno acontece. A rebentação das ondas é um processo não linear. A altura da onda vai aumentando à medida que a profundidade diminui até chegar a um ponto em que a declividade da onda atinge um valor limite, não existe sustentação e a onda rebenta. Este é um fenómeno complexo caracterizado por grande turbulência, e que provoca dissipação de grandes quantidades de energia (Komar, 1976).

A altura da onda e a altura da água relacionam-se pelo índice de rebentação  $\gamma$  (Short, 1999):

$$H_b = \gamma h_b, \quad (2.14)$$

em que  $H_b$  é a altura da onda na rebentação e  $h_b$  é a média da profundidade na rebentação. Através da teoria de onda solitária temos que  $\gamma = 0.78$  (Komar, 1976). Usando a teoria linear das ondas Komar (1976) obteve a seguinte relação para a profundidade na rebentação:

$$\frac{H_b}{H_0} = \frac{0.563}{(H_0/L_0)^{1/5}}, \quad (2.15)$$

em que  $H_0$  e  $L_0$  são a altura e comprimento da onda em águas profundas.

As ondas podem rebentar, de quatro formas distintas, dependendo do declive da praia e da razão entre a altura e o comprimento de onda, ou seja, da declividade da onda.

- **Rebentação Progressiva** (*spilling*) – Ocorre em praias de baixo declive, nas quais a onda gradualmente rebenta deslizando sobre a cava, dissipando a sua energia através de uma faixa larga.
- **Rebentação Mergulhante** (*plunging*) – Ocorre em praias com declive moderado a alto. A onda empola abruptamente ao aproximar-se da costa e quebra violentamente formando um tubo, dissipando a sua energia sobre uma pequena porção do perfil, através de um vórtice de alta turbulência.
- **Rebentação de fundo** (*surging*) – Ocorre em praias de declive tão elevado que a onda não chega a rebentar propriamente, ascendendo sobre a face da praia e interage com o refluxo das ondas anteriores.
- **Rebentação Colapsante** (*collapsing*) – É o tipo de mais difícil identificação. Ocorre, também, em praias de pendente abrupta e é considerado um tipo intermédio entre o mergulhante e o de fundo.

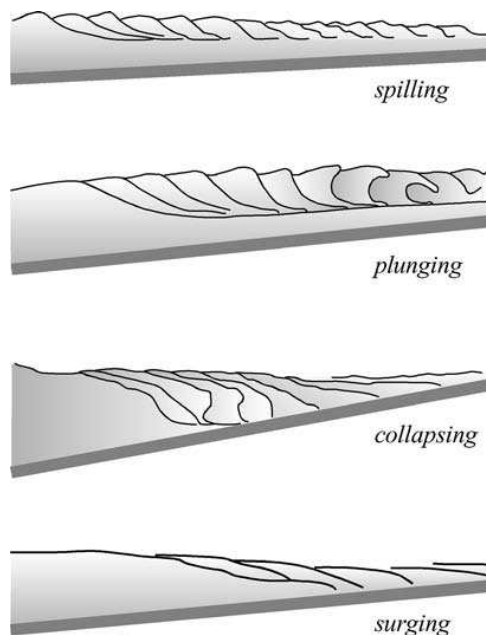


Figura II.7 – Tipos de rebentação das ondas (Holthuijsen, 2007).

O tipo de rebentação pode ser caracterizado através do número de *Iribarren* ( $\xi$ ) definido pela seguinte expressão:

$$\xi_0 = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H_0/L_0}}, \quad \xi_b = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H_b/L_0}}, \quad (2.16)$$

em que  $\tan \beta$  é o declive da praia. O tipo de rebentação é classificado dentro dos seguintes intervalos de valores (Holthuijsen, 2007):

- Progressiva –  $\xi_0 > 0.5$  ou  $\xi_b > 0.4$ ;
- Mergulhante –  $0.5 > \xi_0 > 0.33$  ou  $0.4 > \xi_b > 0.2$ ;
- De fundo ou Colapsante –  $\xi_0 < 0.33$  ou  $\xi_b < 0.2$ ;

### II.3. SWAN – (Simulating WAVes Nearshore)

A previsão da agitação marítima encontra-se em constante actualização e desenvolvimento. Existem diferentes abordagens para solucionar diferentes problemas, mas que possuem limitações específicas a cada aplicação. Neste contexto ainda não existe uma solução global e inequívoca.

Actualmente têm sido utilizados os modelos espectrais de terceira geração. Um dos que tem tido mais destaque tanto pelos resultados obtidos como pela frequência com que é utilizado, é o modelo espectral SWAN (Simulating WAVes Nearshore, Booij *et al.* (1999)). Este modelo foi desenvolvido pela Delft University of Technology. É um modelo numérico projectado para a obtenção duma estimativa realista dos parâmetros das ondas em águas pouco profundas (junto à costa, lagos, estuários, etc.), conhecendo as condições de vento, batimetria e correntes (Holthuijsen, 2007). Este modelo utiliza um esquema de propagação euleriano e assume que as propriedades das ondas variam muito pouco ao longo de um comprimento de onda.

O modelo considera entre outros, os processos físicos de refacção, difracção e empolamento devido a variações do fundo, crescimento de onda por acção dos ventos e rebentação por influência do fundo e por excesso de declividade (Rossa, 2006).

O modelo SWAN é baseado na equação de Hasselmann (et al., 1973), a equação de balanço da acção integrada em todas as cinco dimensões (tempo, espaço geográfico, frequência e espaço direcciona):

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\theta}, \quad (2.17)$$

O primeiro termo do lado esquerdo da equação representa a taxa de variação local da densidade de acção no tempo, o segundo e o terceiro termo representam a propagação da acção no espaço geográfico (com a propagação das velocidades  $c_x$  e  $c_y$  em  $x$  e em  $y$ , respectivamente). O quarto termo representa a alteração da frequência relativa devido a variações na profundidade e nas correntes. O quinto termo representa a refacção induzida pelas correntes e pela variação da profundidade (com velocidade de propagação

$c_\theta$  no espaço- $\theta$ ). As expressões para as velocidades de propagação advêm da teoria linear de onda. O termo  $S$  ( $S = S(\sigma, \theta)$ ), que aparece do lado direito da equação de balanço da acção, representa os efeitos da geração, dissipação e interacções não lineares entre ondas em termos de densidade de energia.

$$S = S_{in} + S_{ds,w} + S_{nl} + S_{ds,b} + S_{ds,br} , \quad (2.18)$$

Na equação 2.18 o termo  $S_{in}$  corresponde ao crescimento das ondas provocado pelo vento,  $S_{nl}$  corresponde às interacções entre grupos de ondas e  $S_{ds}$  corresponde à dissipação da energia das ondas por rebentação parcial (*whitecapping*) ( $S_{ds,w}$ ), atrito de fundo ( $S_{ds,b}$ ) e rebentação induzida pelo fundo ( $S_{ds,br}$ ) (Holthuijsen, 2007).

### CAPITULO III Caracterização do Arco Litoral Tróia-Sines (ALTS)

A área de estudo compreende o Arco Litoral Tróia-Sines (ALTS), limitado a norte pelo estuário do Sado e Serra da Arrábida, que constitui uma barreira física importante, e a sul pelo Cabo de Sines. Tem cerca de 65 km de extensão e apresenta uma configuração de um arco côncavo (baía) exposto para oeste. A linha de costa é constituída por uma praia arenosa contínua, limitada para o lado de terra por um campo dunar interrompido por algumas arribas.

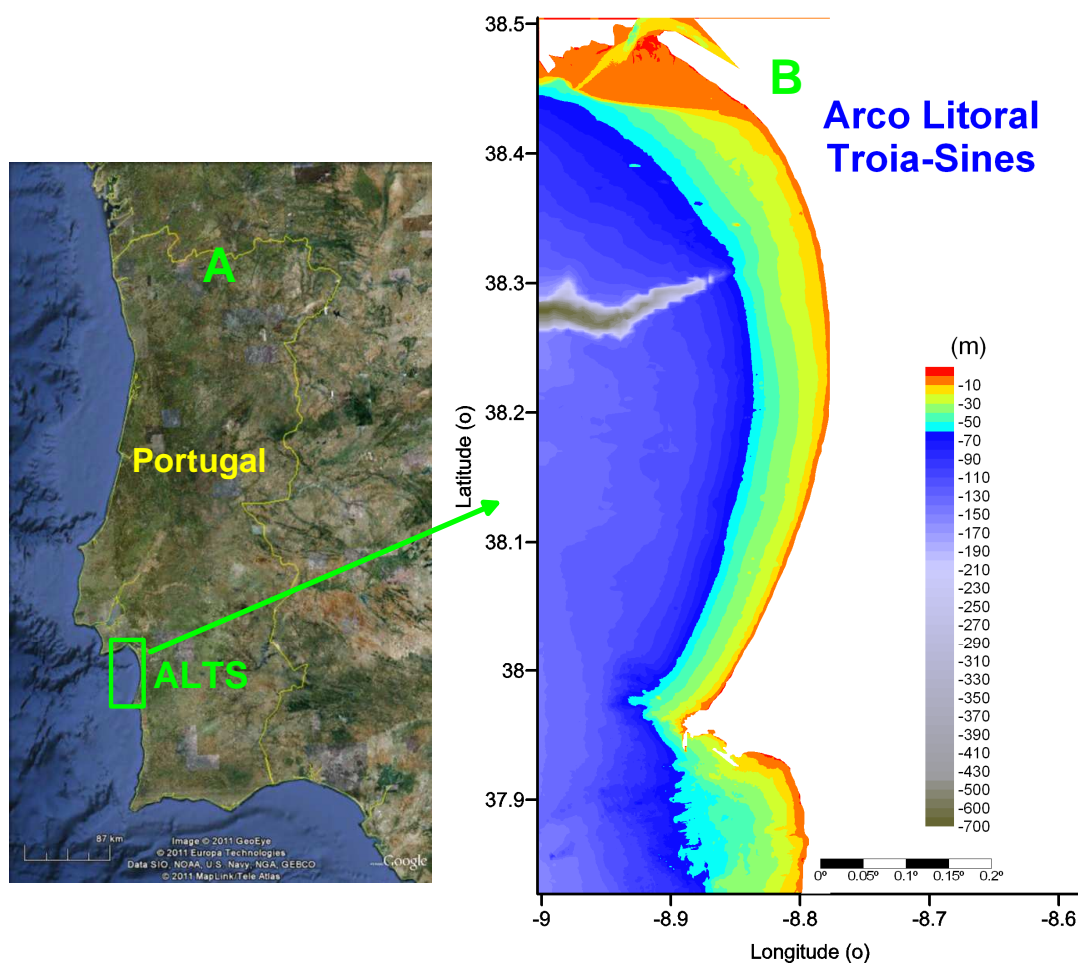


Figura III.1 – Localização (A) e Batimetria (B) do Arco litoral Tróia-Sines e plataforma continental adjacente.

A área da plataforma continental em estudo estende-se até cerca de 25 km na zona mais larga. A norte situa-se o delta de vazante do Rio Sado, conhecido pela designação de Banco do Cambalhão, que se caracteriza por ser um forte constrangimento batimétrico e que cobre uma vasta área, tendo uma extensão de 4 km. Cerca de 18 km a sul situa-se o Canhão de Setúbal, um enorme vale submarino cuja cabeceira se situa a 70 metros de profundidade e a 6 km de distância da linha de costa.

No Roteiro da Costa de Portugal (2006) elaborado pelo Instituto Hidrográfico é caracterizado o clima na costa oeste. O regime de vento na costa é determinado pelo efeito conjunto da circulação atmosférica de larga escala e das brisas locais de variação periódica diurna. Durante o Verão o vento sopra moderado de N ou NNW devido à acção conjunta do Anticiclone dos Açores, da depressão de origem térmica e da brisa marítima. Nestas condições e com o aumento do gradiente horizontal de pressão, os máximos da velocidade do vento ocorrem ao fim da tarde e os mínimos de madrugada. Quando as condições meteorológicas originam ventos do quadrante E, o vento aumenta de velocidade durante a madrugada e diminui durante o dia, devido ao efeito das brisas. Os ventos mais fortes são geralmente de SW associados a depressões muito cavadas e tomam valores mais elevados na região norte do ALTS. Este tipo de situações só ocorre no Inverno.

Costa, *et al.* (2008) analisou as condições de agitação marítima da costa oeste de Portugal Continental, com base em 20 anos de dados (1988 – 2008) registados pelas bóias ondógrafo de Sines, Leixões e Figueira da Foz. Em Sines os valores mais frequentes de altura significativa situam-se entre 1 e 2m, cerca de 50%, a média da altura é 1.7m com um desvio padrão de 0.9m, a altura significativa máxima foi de 8.1m. O período médio mais frequente (30%) situa-se entre 7 e 9s, já o período de pico mais frequente situa-se entre os 9 e os 13s (60%). A direcção média associada ao período de pico mais frequente é de NW (76%). Nos meses de Inverno as médias mensais são maiores do que nos meses de Verão. A maioria dos eventos de tempestade provêm do sector WNW tendo em alguns casos excedido 8m de altura significativa.

## CAPITULO IV      **Agitação Marítima**

Para a caracterização da agitação marítima do ALTS, foram utilizados dados da bóia ondógrafo de Sines pertencente ao Instituto Hidrográfico, fundeada na posição 37.9211° N 008.9289°W<sup>1</sup> a 97m de profundidade. Esta é uma bóia direccional Datawell do tipo Directional Waverider, as séries temporais são constituídas por elevações e declives relativamente a duas direcções perpendiculares entre si, norte-sul e este-oeste. A aquisição dos dados foi efectuada de 3 em 3 horas durante períodos de 20 minutos. Em situações de temporal a aquisição foi efectuada em modo quase contínuo.



**Figura IV.1 – Bóia Ondógrafo e Sines (foto: Nuno Zacarias).**

Neste trabalho foi estudado o período compreendido entre Janeiro de 2009 e Junho de 2010, englobando assim todas as campanhas de campo realizadas no âmbito do projecto PTDC/AMB/73169/2006, em que foi levantado e analisado o padrão morfológico apresentado pela praia emersa ao longo da ALTS.

---

<sup>1</sup> Importa referir que todas as coordenadas desta dissertação se encontram no sistema de coordenadas WGS 84.



De forma a caracterizar a agitação marítima em toda a extensão do ALTS, foi feita uma simulação para o período em estudo utilizando o modelo SWAN (Simulating WAves Nearshore) em modo não estacionário.

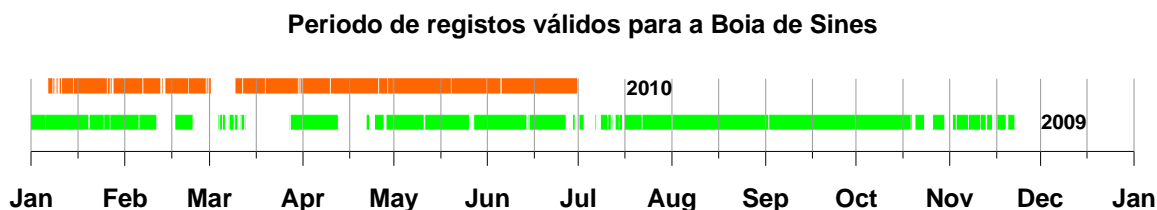
Neste capítulo do presente trabalho será feita toda a caracterização da agitação marítima no ALTS utilizando os dados reais da bóia de Sines e os dados simulados do modelo de ondas SWAN acoplado ao modelo atmosférico ALADIN (Aire Limitée Adaptacion Dynamique développement Initialisation).

### IV.1. Agitação Marítima na Bóia de Sines (registos na bóia de Sines)

Na Tabela VI.1 e na Figura IV.2 são discriminados os períodos em que se obtiveram registos válidos na bóia de Sines. Podemos observar que para o período de estudo obtiveram-se 77% de registos válidos, 89% no período de Verão marítimo (Abril a Setembro) e 63% no período de Inverno marítimo (Outubro a Março). Em Dezembro de 2009 não se obteve qualquer registo e em Fevereiro, Março e Novembro de 2009 a percentagem de dados ficou abaixo dos 60%. Os meses em que se obtiveram 100% de registos válidos foram Agosto e Setembro de 2009 e Maio de 2010.

*Tabela IV.1 – Percentagens de Registos válidos para a bóia de Sines.*

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2009	97%	58%	32%	60%	94%	86%	73%	100%	100%	82%	59%	0%
2010	73%	94%	71%	99%	100%	99%	-	-	-	-	-	-
Verão	89%											
Inverno	63%											
TOTAL	77%											



**Figura IV.2 – Período de registos válidos para a bóia de Sines (a verde registos de 2009 e a laranja registos de 2010).**

Os parâmetros utilizados para a caracterização da agitação marítima são:

- Altura Significativa –  $H_s$  (m): Média do terço mais elevado das alturas de onda que foram registadas durante o período de observação;

- Altura Máxima –  $H_{max}$  (m): Máxima altura de onda registada durante o período de observação;
- Período Médio –  $T02$  (s): Período médio de onda durante o período de observação;
- Período de Pico –  $Tp$  (s): Período correspondente à banda de frequência com o máximo valor de densidade espectral. É representativo das ondas mais energéticas presentes no registo;
- Direcção de pico –  $Dp$  (°): Direcção média correspondente ao período de pico. Representa a direcção de propagação das ondas mais energéticas.

Um período de um ano e meio não é representativo para se fazer uma análise climatológica. Por este motivo usou-se a análise feita por Costa, *et al.* (2008), onde se considerou os dados obtidos na bóia ondógrafo de Sines para um período de 20 anos. Nas duas figuras seguintes estão representados os valores médios mensais para  $H_s$ ,  $T_p$  e  $T02$  obtidos com esta série longa de dados. De forma a compreender se o período de estudo é representativo da climatologia da agitação na Bóia de Sines, nas figuras estão também representados os valores médios para todos os meses de Janeiro de 2009 a Junho de 2010.

Analisando a Figura IV.3 observa-se que os meses de Janeiro e Fevereiro de 2009 e 2010 foram muito mais energéticos do que a média dos últimos 20 anos. Para os restantes meses os valores são muito semelhantes. Para o  $T_p$  e  $T02$  (Figuras IV.4) os valores são semelhantes em todos os meses.

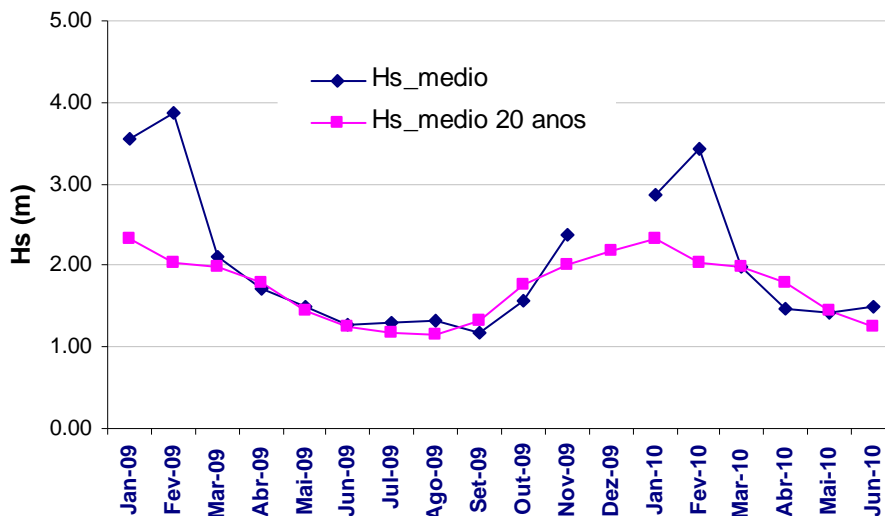


Figura IV.3 – Valores médios mensais para a altura significativa. A azul valores médios mensais para o período de estudo. A rosa valores médios mensais utilizando uma série de 20 anos (1988-2008) (adaptado de Costa, *et al.* (2008)).

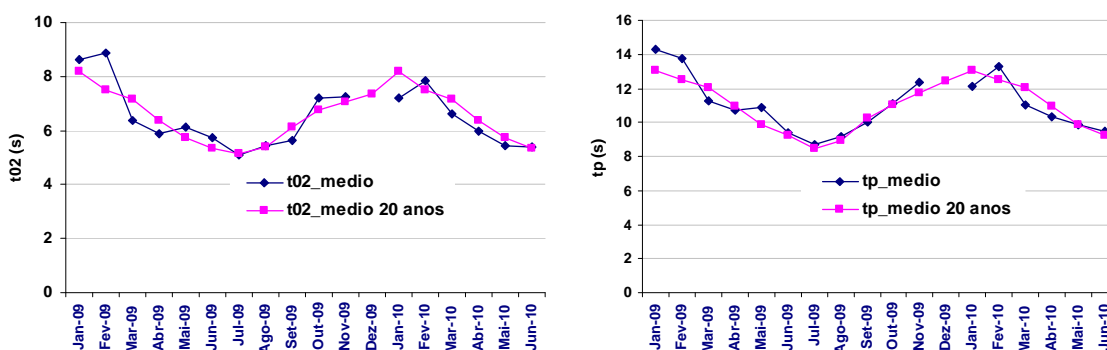
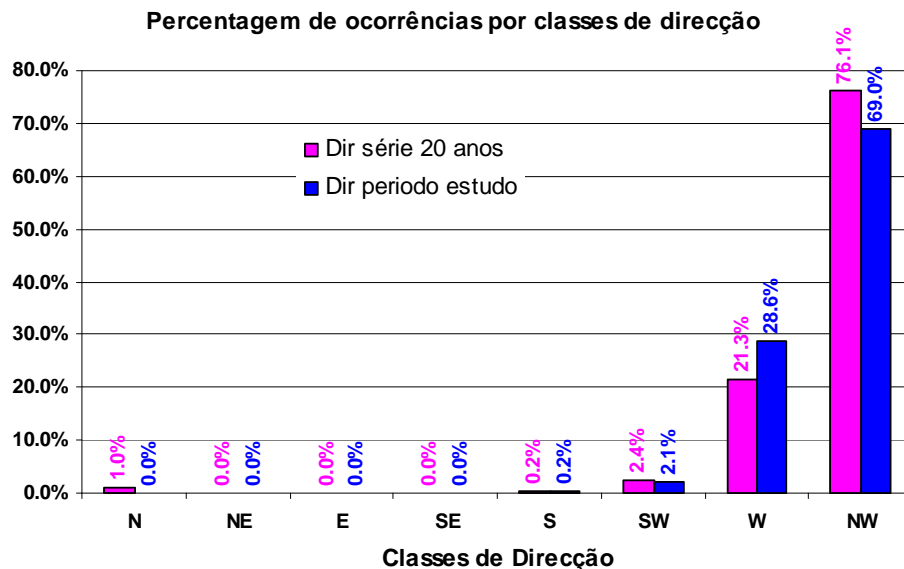


Figura IV.4 – Valores médios mensais para o período médio (t02) à esquerda e período de pico (tp) à direita. A azul valores médios mensais para o período de estudo. A rosa valores médios mensais utilizando uma série de 20 anos (1988-2008) (adaptado de Costa, *et al.* (2008)).

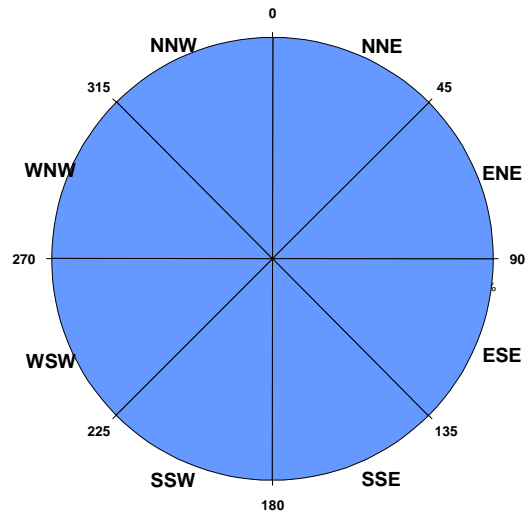
A Figura IV.5 mostra a taxa de ocorrências da direcção de pico na bóia de Sines para todo o período de estudo e para a série de 20 anos utilizada na análise feita por Costa, *et al.* (2008). Como se pode observar para os octantes W e NW ocorre uma diferença das ocorrências em cerca de 7%. Para as restantes direcções os valores são muito semelhantes. Mais de 95% da agitação provem dos octantes W e NW.



**Figura IV.5 – Histograma para a direcção de pico. A azul valores ocorrências para o período de estudo. A rosa valores ocorrências utilizando uma série de 20 anos (1988-2008) (adaptado de Costa, *et al.* (2008)).**

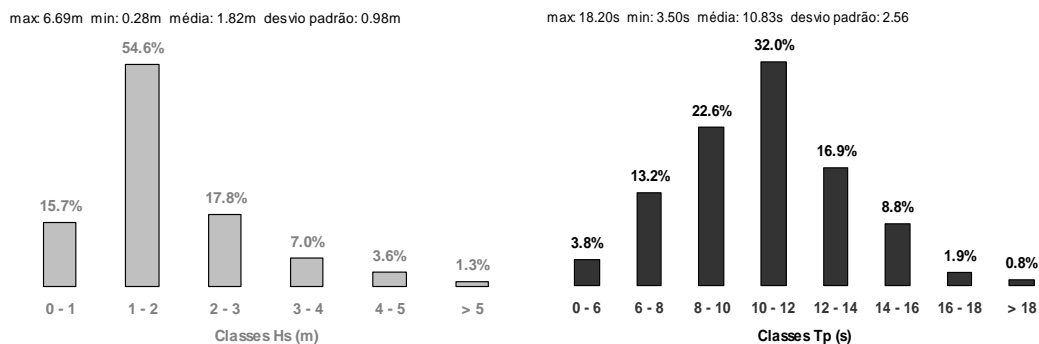
Nesta fase do presente trabalho conclui-se que todo o período de estudo excepto os meses de Janeiro e Fevereiro de 2009 e 2010 tiveram um comportamento semelhante com o que tem vindo a ser registado ao longo dos últimos 20 anos.

Importa agora analisar de uma forma mais aprofundada a agitação marítima no período de estudo. A partir deste ponto no presente trabalho todos os histogramas polares apresentados estão divididos em octantes como mostra a Figura IV.6. Esta divisão das classes de direcção será muito útil na análise da agitação marítima ao longo do ALTS.



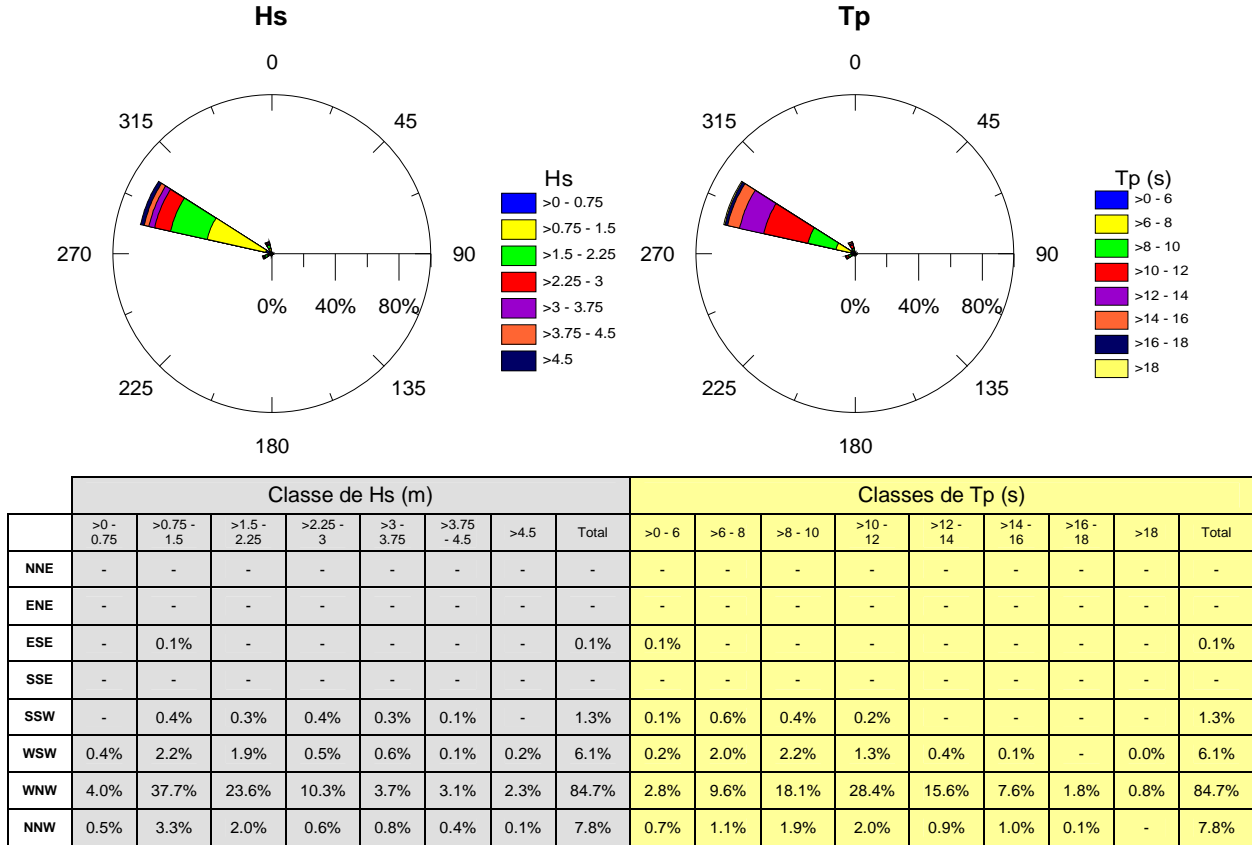
**Figura IV.6 – Classes de direcção utilizadas nos histogramas polares.**

Através da Figura IV.7 podemos observar que para 54.6% dos registos a altura significativa encontrou-se entre 1 e 2m, as classes de 0 a 1 e 2 a 3m apresentam uma frequência relativa semelhante, 15.7% e 17.8% respectivamente. As alturas significativas acima de 3m apresentam uma frequência relativa de 12%. No período de pico 32.0% dos registos situaram-se entre 10 e 12s, cerca de 60% das ocorrências tiveram um período de pico superior a 10s.



**Figura IV.7 – Distribuição de frequência relativa para Hs (cinza) e Tp (preto).**

Através dos histogramas polares da figura IV.8 podemos observar que a direcção da agitação marítima faz-se essencialmente de WNW com uma frequência relativa de 84.7%, foram registadas também 7.8 % de ocorrências de NNW e 6.1% de WSW.



**Figura IV.8 – Histogramas polares de Hs/Dp (esquerda) e Tp/Dp (direita).**

Analisando os dados tendo em conta os períodos de Inverno e Verão (Figura IV.9), observa-se que os valores mais elevados tanto de altura significativa como de período de pico ocorrem no Inverno. A direcção de pico faz-se essencialmente de WNW tanto no Inverno como no Verão com cerca de 85% de ocorrências. No Inverno ocorrem maior número de ocorrências de WSW do que de NNW, no Verão observa-se o contrário.

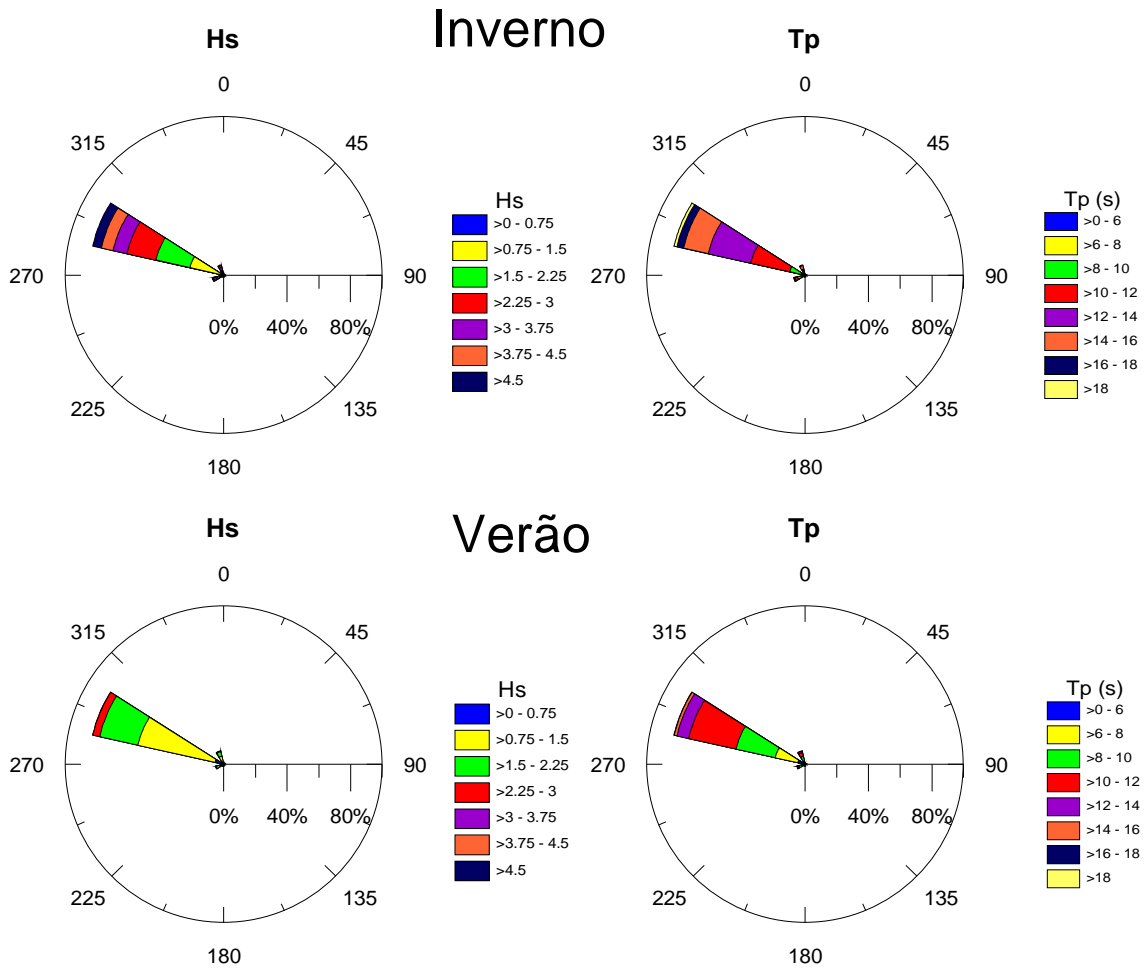


Figura IV.9 – Histogramas polares de Hs/Dp (esquerda) e Tp/Dp (direita) para os períodos de Inverno (em cima) e Verão (em baixo).



### ***IV.1.1. Situações de Temporal (Bóia de Sines)***

Procedeu-se a caracterização dos períodos de temporal ao longo do período de estudo tendo por base os registos da bóia ondógrafo de Sines. Esta análise é importante uma vez que será sobre estes períodos que incidirá a caracterização da agitação na zona de rebentação.

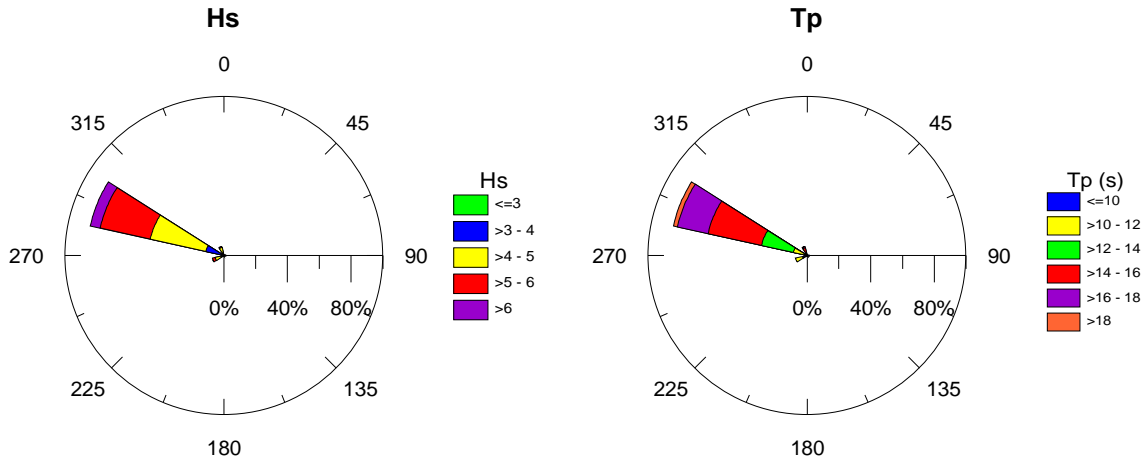
O critério usado para a definição de cada período de temporal teve por base os critérios de Costa, *et al.* (2008) no que se refere à altura das ondas, isto é, considerou-se que ocorreu um temporal sempre que a altura significativa atingiu o limiar de 3.5m durante um período de pelo menos 2.5h, tendo-se verificado valores máximos superiores a 4.5m. Com base nestes critérios podemos descrever 16 períodos de temporal durante o período de estudo (Tabela IV.2).

***Tabela IV.2 – Períodos de temporal registados na bóia de Sines.***

DATA INICIAL	DATA FINAL	DURAÇÃO (dias)	Hs_medio (m)	Hs_max (m)	DIR_media (°)	DIR_max (°)	DIR_min (°)	T02_medio (s)	Tp_max (s)
15-01-09 21:00	16-01-09 21:00	1.00	4.55	5.09	302	312	292	10	15.72
18-01-09 6:00	19-01-09 21:00	1.63	4.28	4.99	309	314	305	10.69	17.61
20-01-09 11:09	22-01-09 9:00	1.91	4.97	6.15	306	317	301	9.2	15.38
24-01-09 0:00	27-01-09 9:00	3.38	5.43	7.04	304	311	296	9.71	15.39
30-01-09 12:00	03-02-09 3:00	3.63	5.07	6.43	282	312	223	9.12	13.57
04-02-09 9:00	06-02-09 18:00	2.38	5.30	6.42	303	312	293	9.83	15.37
04-03-09 18:00	06-03-09 3:00	1.38	3.95	4.52	314	320	303	7.44	14.08
21-10-09 6:00	22-10-09 18:00	1.50	3.84	4.52	319	328	309	8.21	13.5
11-01-10 0:00	11-01-10 15:00	0.63	4.26	4.89	259	283	233	7.49	10.88
12-01-10 9:00	15-01-10 0:00	2.63	4.94	6.52	297	308	259	8.42	12.6
05-02-10 11:50	06-02-10 18:00	1.26	4.69	5.78	311	319	303	10.79	15.29
08-02-10 0:00	09-02-10 21:00	1.88	4.24	4.71	289	302	271	8.84	16.27
22-02-10 9:00	26-02-10 6:00	3.88	4.53	5.49	300	320	252	8.22	12.96
27-02-10 15:00	28-02-10 5:33	0.61	4.60	5.38	258	284	228	7.85	10.9
30-03-10 13:25	30-03-10 18:00	0.19	4.45	4.66	317	317	316	8.95	14.57
16-04-10 6:00	16-04-10 12:00	0.25	4.19	4.62	228	231	222	7.38	10.85

Ocorreram três temporais com duração superior a três dias, 24-01-2009 a 27-01-2009, 30-01-2009 a 03-02-2009 e 22-02-2010 a 26-02-2010. O primeiro teve uma altura significativa máxima superior, 7.04m com um período de pico máximo de 15.39s. Nos

histogramas polares da Figura IV.10 verificamos que nos períodos de temporal a agitação provem preferencialmente de WNW. Para períodos de pico acima de 18s só se observam temporais com direcção de WNW (figura IV.10). Na Figura IV.11, observa-se que dos 16 períodos de temporal apenas um ocorreu no período de Verão (16 Abril de 2010). O temporal com maior altura significativa teve uma proveniência de WNW.



**Figura IV.10 – Histogramas polares de Hs/Dir (esquerda) e Tp/Dir (direita) para os períodos de temporal registados na bóia de Sines.**

**Tabela IV.3 – Ocorrência de temporais, por classes de altura significativa e de direcção.**

		Classes de Hs				Total
		4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	
Classes de Dir (°)	WSW	2	1	0	0	3
	WNW	3	2	5	1	11
	NNW	2	0	0	0	2

**Tabela IV.4 – Ocorrência de temporais, por classes de altura significativa e de duração.**

		Classes de Hs (m)				Total
		4 - 5	5 - 6	6 - 7	>7	
Classes de Duração (dias)	<1	3	1	0	0	4
	1 - 2	4	2	1	0	7
	>2	0	1	3	1	5

Analisando a *Tabela IV.4* podemos verificar que foram registados quatro temporais com menos de um dia de duração e cinco com mais de dois dias de duração. Os temporais com mais de dois dias de duração são os que atingiram alturas significativas mais elevadas.

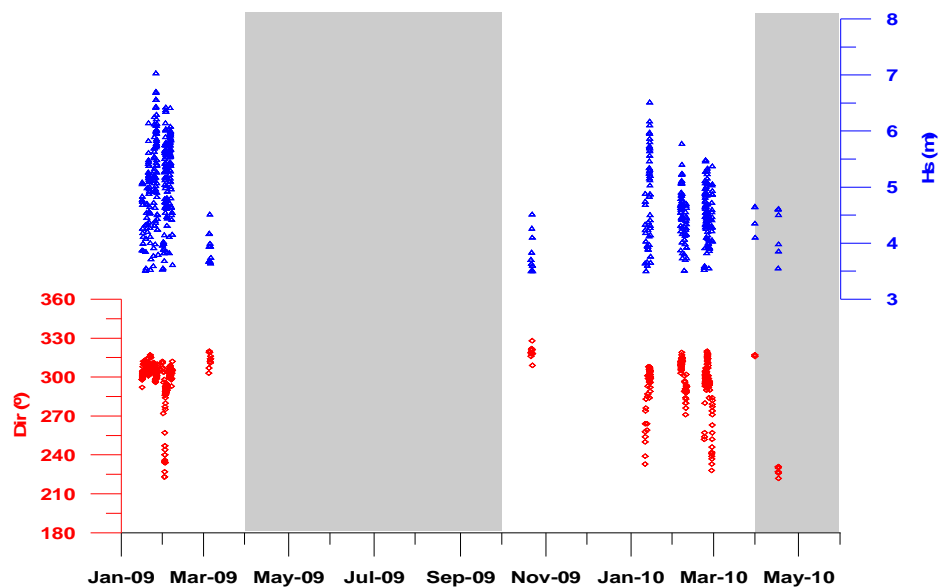


Figura IV.11 – Gráfico da direcção (vermelho) e altura significativa (azul) para os períodos de temporal (cinza período de Verão e branco período de Inverno).

## IV.2. Clima de Agitação Marítima no ALTS (SWAN)

### IV.2.1. Simulação utilizando o modelo de previsão SWAN

Para caracterizar a agitação marítima ao longo do ALTS no período de estudo (“hindcast”) foi necessário recorrer ao modelo de ondas SWAN em modo não-estacionário, uma vez que só dispomos de informação de agitação marítima para a bóia ondógrafo de Sines. Recorreu-se ao modelo SWAN que descreve a geração de ondas local, acoplado a um modelo oceanico, WAVEWATCH III (WW3), que forneceu as condições fronteira, que permitiu representar a propagação e transformação das ondas em águas pouco profundas. Foi utilizada a configuração padrão de WESTHUYSEN que segundo Silva (2009) se revelou ser a melhor para a costa ocidental portuguesa. Foram criadas duas grelhas para o modelo SWAN, a malha SWAN\_1 que permitiu retirar dados de agitação marítima de onze pontos ao largo fornecidos pelo WW3 e a SWAN\_2 com uma melhor resolução espacial que permitiu seleccionar dezasseis pontos na zona de rebentação. Esta última teve como condições fronteira os resultados da simulação da grelha SWAN\_1.

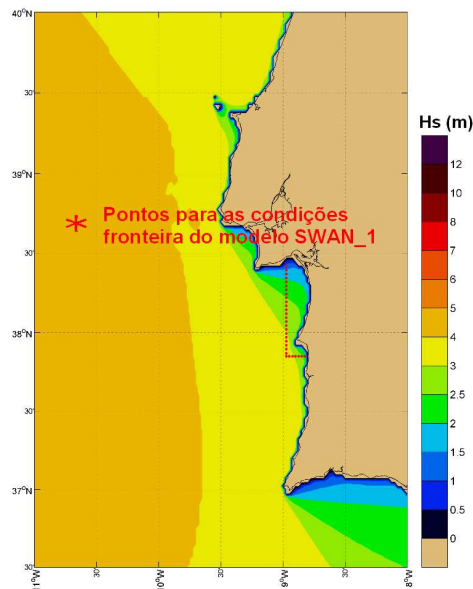
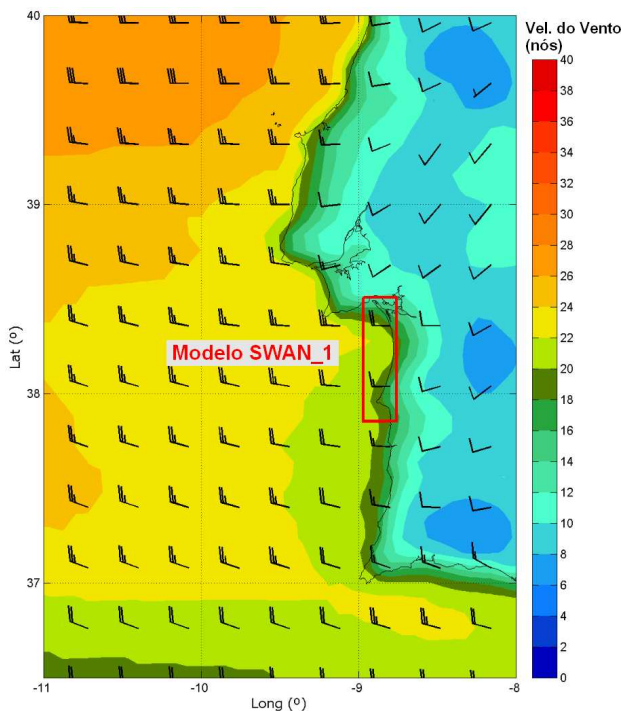


Figura IV.12 – Exemplo do modelo WAVEWATCH III e pontos onde foram retiradas as condições fronteira para correr o modelo SWAN\_1.

O WAVEWATCH III (WW3) utilizado no IH é um modelo espectral de terceira geração (não assume qualquer tipo de restrição à forma do espectro) que permite descrever a geração e a propagação de ondas. A versão utilizada no IH é apenas adequada a escalas oceânicas. Relativamente à discriminação do espectro consideraram-se, 24 direcções (o que dá uma resolução angular de 15°) e 25 frequências. Para a grelha SWAN\_1 foram utilizados 30 pontos com as condições fronteira, figura IV.12.

Os dados relativos ao forçamento meteorológico foram cedidos pelo Instituto de Meteorologia (IM), ao abrigo de um acordo de cedência de dados com o IH. Foram utilizados os dados do campo de ventos a 10m de altura (velocidade do vento e direcção) resultantes de simulações realizadas usando o modelo de previsão do tempo ALADIN (Radnóti, *et al.* 1995). Só foram disponibilizados dados de Fevereiro de 2009 a Junho de 2010, por esse facto não foi possível realizar a simulação do SWAN respeitante ao mês de Janeiro de 2009.



**Figura IV.13 – Exemplo da simulação do campo de ventos usando o modelo de ventos ALADIN (01-01-2010 00:00).**

A batimetria utilizada foi disponibilizada pela Divisão de Hidrografia do Instituto Hidrográfico (IH). Os dados foram adquiridos ao longo de vários anos pelo IH, como podemos observar na Figura IV.14. Os dados disponíveis não são muito recentes. Este facto poderá condicionar a qualidade das simulações do modelo em particular junto á costa. Isto porque a profundidades menores é natural que a batimetria tenha sofrido alterações significativas. Os dados da batimetria possuem uma escala de 2''. De forma a obter dados de altura de água mais próximos da realidade, foi somado à batimetria a altura de maré, isto para cada espaço temporal da simulação. Os dados de maré utilizados foram disponibilizados pelo IH e pertencem ao marégrafo de Sines.

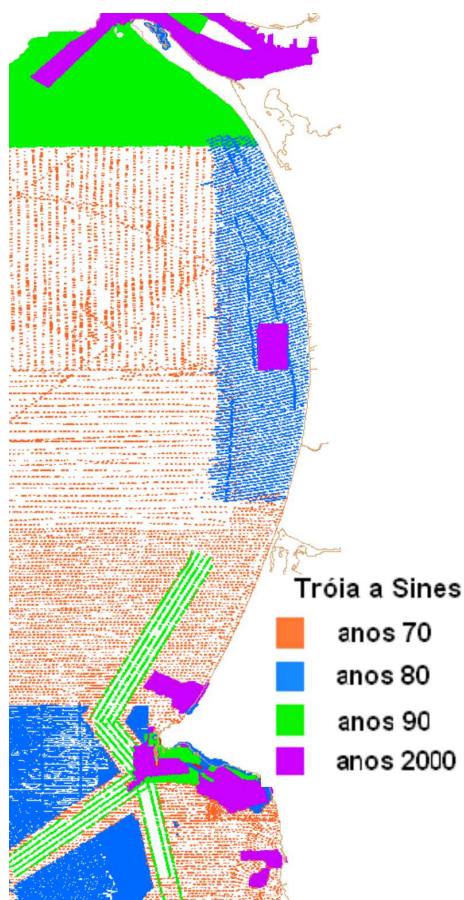


Figura IV.14 – Períodos dos levantamentos dos dados batimétricos utilizados na simulação da agitação marítima com o modelo de previsão SWAN (Instituto Hidrográfico).

A primeira simulação (SWAN\_1) tem uma grelha espacial com limites de  $37.85^{\circ}$  N a  $38.50^{\circ}$  N e  $-8.975^{\circ}$  W a  $-8.755^{\circ}$  W, a resolução é de  $0.0022^{\circ}$  x  $0.00325^{\circ}$ . O domínio desta simulação foi escolhido de forma a cobrir todo o comprimento do ALTS à latitude da bóia de Sines e toda a largura até à costa, com uma resolução que permita identificar os efeitos provocados pelo Cabo Espichel, Canhão Submarino de Setúbal e Banco do Cambalhão nos parâmetros de agitação marítima.

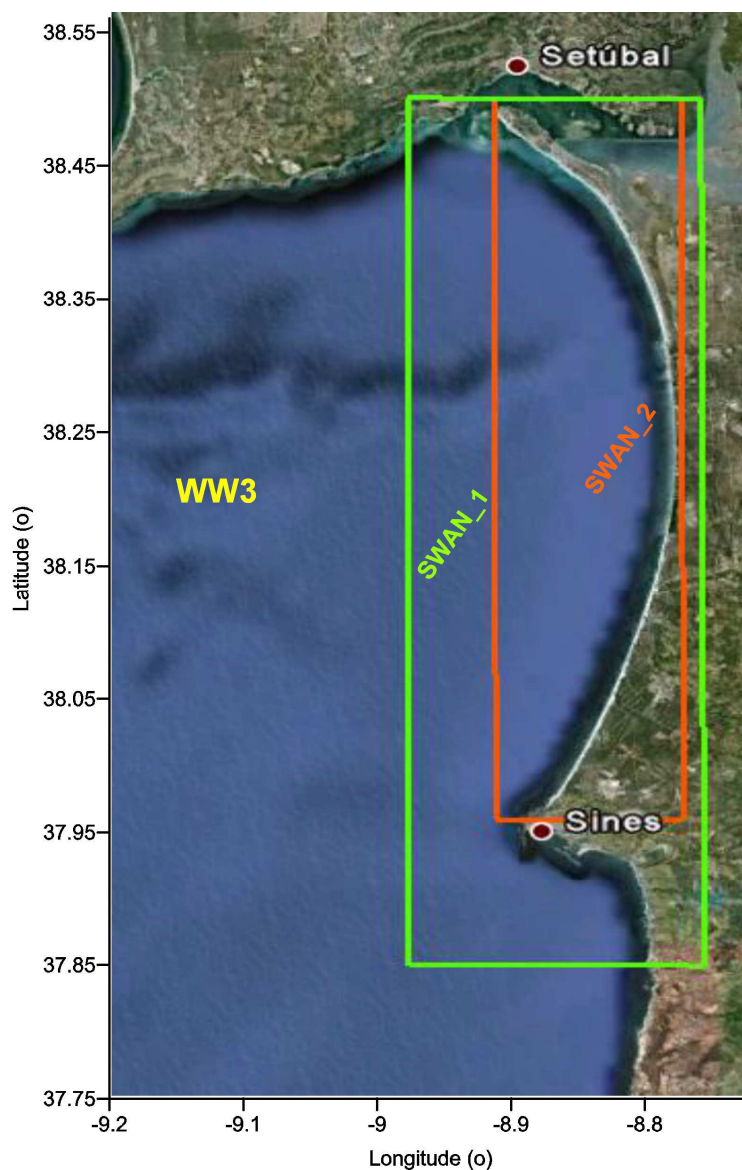


Figura IV.15 – Grelhas espaciais utilizadas nas simulações do SWAN.

A segunda simulação (SWAN\_2) possui uma grelha espacial com limites de 37.96° N a 28.50° N e -8.910° W a -8.770° W e uma resolução de 0.0007° x 0.0009°. Esta simulação tem um domínio mais pequeno e uma resolução espacial maior, o que permite ter melhor definição da agitação junto à costa, um factor importante tendo em conta os processos que se pretendem analisar na zona de rebentação.

Em ambas as simulações a resolução temporal foi de 30 minutos para um período temporal de 17 meses (Janeiro de 2009 a Junho de 2010). A escolha dos domínios e resoluções espaciais teve como factor condicionante, a capacidade de cálculo dos computadores utilizados e a disponibilidade dos mesmos. As simulações demoraram cerca de dois dias utilizando 60 dos 96 processadores que constituem o cluster disponibilizado pelo Instituto Hidrográfico.

Os parâmetros das grelhas computacionais utilizados nos cálculos das simulações do modelo SWAN encontram-se na *Tabela IV.5* e no ANEXO V.

***Tabela IV.5 – Parâmetros das grelhas computacionais utilizadas nas simulações do SWAN.***

Grelhas	Este	Sul	$dx$ (°)	$dy$ (°)	$\Delta x * \Delta y$ (°)
SWAN_1	-8.975	37.85	0.220	0.650	0.0022 * 0.00325
SWAN_2	-8.910	37.96	0.140	0.540	0.0007 * 0.0009

Grelhas	$f_{min}$ (Hz)	$f_{max}$ (Hz)	$nf$	$n\theta$	$ngx \times ngy = np$
SWAN_1	0.05	0.6	29	36	100 x 200 = 20000
SWAN_2	0.05	0.6	29	36	200 x 600 = 120000



#### **IV.2.2. Validação do modelo**

A implementação de um modelo de reconstituição (“hindcast”), neste caso de agitação marítima, exige sempre uma validação com dados reais. Neste estudo em concreto foram utilizados os registos da bóia de Sines para comparar com os resultados obtidos a partir das simulações do modelo. Devido às condicionantes acima descritas só a grelha da simulação SWAN\_1 engloba a posição da bóia.

Foram analisados alguns parâmetros estatísticos, tais como o erro quadrático médio (RMSE), enviesamento (bias), coeficiente de correlação R e o *scatter index* (SI), este último representa na realidade o RMSE normalizado com os valores de observação, permitindo assim compreender a capacidade do modelo de representar as condições de agitação de forma coerente (Rusu, 2011). Sendo X os valores obtidos através do SWAN e Y os valores registados na bóia de Sines temos:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (4.1)$$

$$bias = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n} \quad (4.2)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\left( \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \right)^{1/2}} \quad (4.3)$$

$$SI = \frac{RMSE}{\bar{Y}} \quad (4.4)$$

Na Figura IV.16 está representado o diagrama de dispersão das alturas significativas registadas na bóia de Sines com as alturas significativas obtidas a partir do modelo, bem como os valores dos parâmetros estatísticos. Obtivemos um coeficiente de correlação de 0.9483, um SI de 0.175, um RMSE de 0.2923 e um enviesamento de 0.054. No geral os resultados estatísticos são satisfatórios.

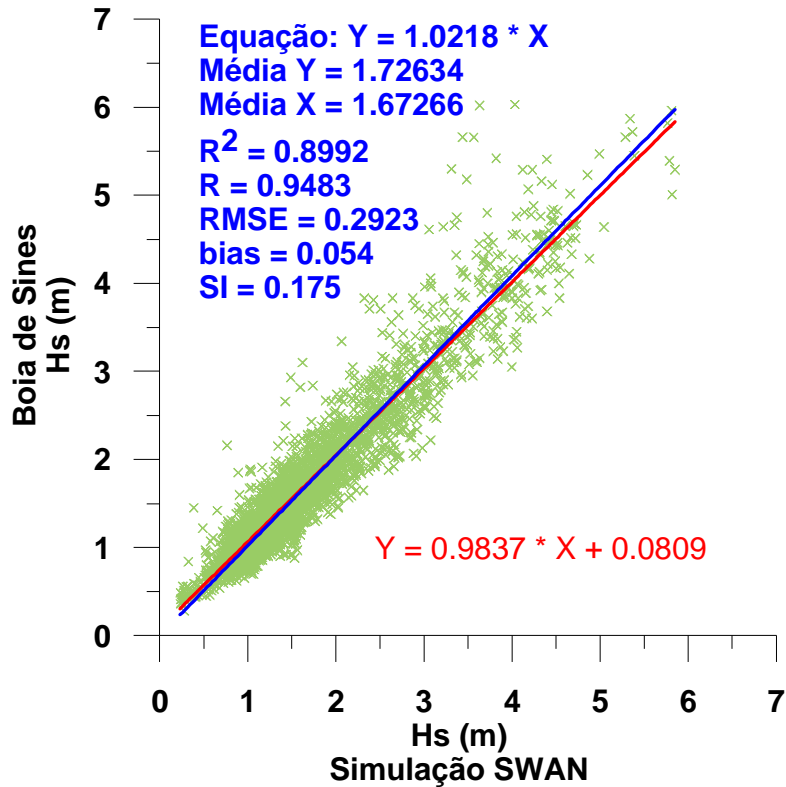
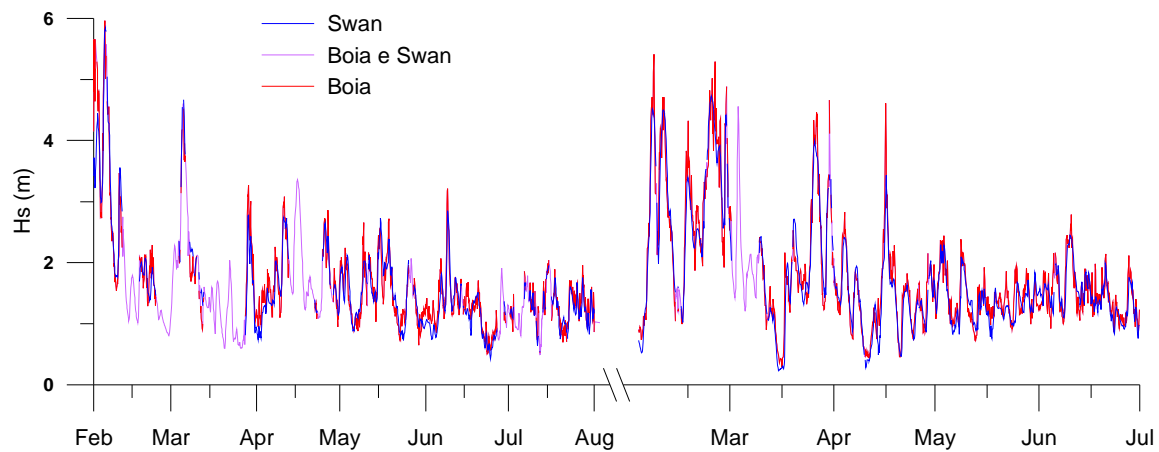


Figura IV.16 – Diagrama de dispersão das alturas significativas registadas na bóia de Sines com as alturas significativas obtidas a partir do modelo na posição da bóia de Sines. São apresentadas as rectas de regressão linear obtidas para a distribuição dos pontos, passando pela origem (azul) e a recta de melhor ajuste não passando pela origem (vermelho).

O valor de enviesamento tem sinal positivo, isto indica que os dados da bóia são em média superiores aos obtidos através da simulação do SWAN ao longo da série estudada especialmente nas situações mais energéticas, como podemos observar na Figura IV.17.

Comparando os histogramas da bóia de Sines (Figura IV.7) com o da simulação SWAN para a localização da bóia (ANEXO II) observa-se que para a altura significativa os valores são muito semelhantes. Para períodos de pico maiores que 12s associados a situações de swell e temporais, observaram-se menos ocorrências na simulação do que nos registos da bóia, o que está de acordo com o facto do modelo subestimar a altura da onda significativa nas situações mais energéticas.

Conclui-se que o modelo representa melhor situações de fraca e média agitação marítima do que situações extremas de temporal. Assim, o modelo SWAN consegue reproduzir de forma satisfatória as características da agitação marítima, quando comparadas com os registos obtidos na bóia ondógrafo de Sines.



**Figura IV.17 – Séries temporais dos dados da bóia de Sines (vermelho) e da simulação do SWAN para a posição da bóia de Sines (azul). Reconstituição total da serie estudada (rosa).**

### ***IV.2.3. Padrão da agitação marítima ao largo do ALTS tendo por base as simulações do modelo SWAN***

#### ***IV.2.3.1. Período total de estudo***

De forma a caracterizar a agitação marítima ao longo de toda a extensão do ALTS, foram escolhidos onze pontos offshore (Figura IV.18) com o intuito de analisar o efeito de algumas particularidades da fisiografia do relevo (e.g. Cabo Espichel e Serra da Arrábida) ou da batimetria adjacente (e.g. Canhão Submarino de Setúbal e Banco do Cambalhão). Na interpretação dos resultados é importante ter sempre presente a localização relativa destes elementos fisiográficos. Assim sendo, o ponto P1 permite caracterizar a agitação no Banco do Cambalhão junto à costa, o ponto P2 caracteriza a agitação no limite externo do Banco do Cambalhão e o P3 a entrada da foz do Rio Sado. O ponto P5 caracteriza a agitação a sul do Banco do Cambalhão e ao largo da Comporta, P4 e P6 caracterizam a agitação a norte e a sul do Canhão de Setúbal, respectivamente. Os pontos P7, P8, P9, P10 e P11 caracterizam a agitação ao largo a sul do Canhão de Setúbal (Tabela IV.6 e Figura IV.18).

***Tabela IV.6 – Localização dos pontos utilizados para caracterizar a agitação marítima no ALTS (pontos ordenados de norte para sul).***

<b>Referencia</b>	<b>Designação</b>	<b>Latitude (°)</b>	<b>Longitude (°)</b>
<b>P1</b>	Banco do Cambalhão	38.474113	-8.914125
<b>P3</b>	Bóia de Sinalização nº 3	38.473500	-8.945000
<b>P2</b>	Bóia de Sinalização nº 1	38.451167	-8.968167
<b>P5</b>	Sul do Banco do Cambalhão	38.387734	-8.923827
<b>P4</b>	Norte do Canhão de Setúbal	38.318416	-8.909389
<b>P6</b>	Sul do Canhão de Setúbal	38.263698	-8.911767
<b>P7</b>	Largo da Praia do Pinheirinho	38.213580	-8.889294
<b>P8</b>	Entre a lagoa de Melides e a de Santo André	38.124971	-8.914005
<b>P9</b>	Largo da Lagoa da Sancha	38.041536	-8.935367
<b>P10</b>	Largo da praia de Ribeiro de Moinhos	37.989965	-8.946866
<b>P11</b>	Bóia Ondógrafo de Sines	37.921100	-8.928900

Para cada um dos pontos foram retirados os seguintes parâmetros simulados pelo modelo SWAN: altura significativa ( $H_s$ ), altura do swell ( $H_{swell}$ ), período de pico ( $T_p$ ), direcção média ( $D_{irm}$ ) e direcção de pico ( $D_p$ ). Importa referir que a frequência de corte utilizada para determinar  $H_{swell}$  foi de 0.1Hz. Foram também retirados os seguintes dados de input: componentes U e V do vento e altura de água.

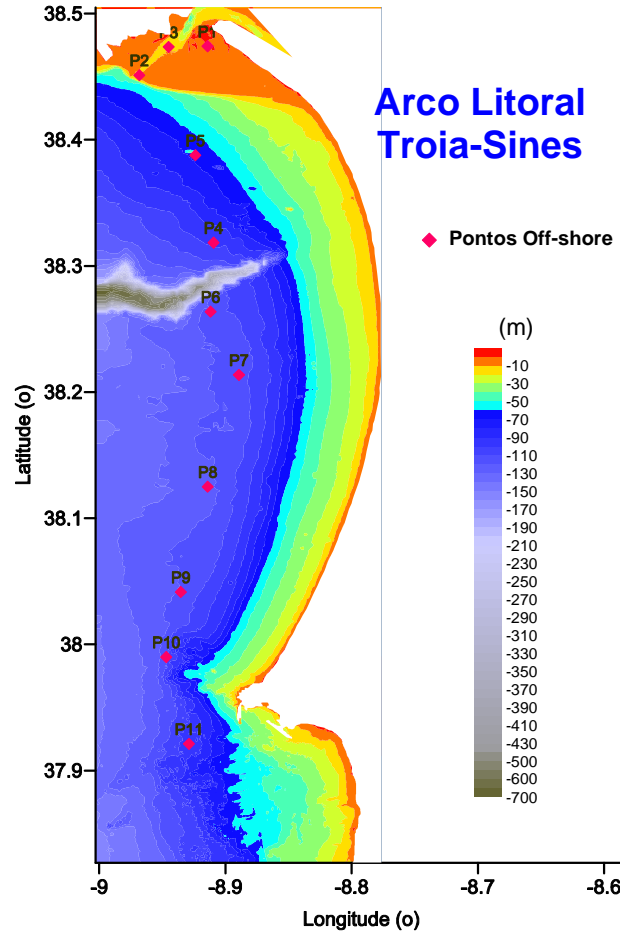


Figura IV.18 – Localização dos pontos utilizados para caracterizar a agitação marítima ao longo do ALTS.

A Tabela IV.7 mostra os parâmetros estatísticos de  $H_s$ ,  $H_{swell}$  e  $T_p$  para cada um dos pontos em todo o período estudado. Como podemos constatar verifica-se um aumento progressivo nos valores máximos e valores médios de norte para sul para a altura significativa e altura de swell. Para o  $T_p$  ocorre também um aumento dos valores

médios ao longo do ALTS, contudo os máximos são registados nos pontos a norte (P1, P2, P3 e P4). A percentagem de Hswell presente na altura significativa é menor que 30% para os primeiros quatro pontos a norte, aumentando drasticamente entre o Banco do Cambalhão e o Canhão de Setúbal (P5 e P4 respectivamente). A sul do Canhão submarino de Setúbal, a altura de swell presente na altura significativa ronda os 60%.

*Tabela IV.7 – Parâmetros estatísticos de altura significativa, altura de Swell e período de pico para os pontos utilizados na caracterização da agitação marítima no ALTS.*

	P1	P3	P2	P5	P4	P6	P7	P8	P9	P10	P11
<b>Máximo</b>											
<b>Hsig (m)</b>	1.43	1.55	3.20	3.62	4.74	5.01	5.15	5.41	5.80	5.88	5.85
<b>Hswell (m)</b>	0.94	1.05	2.31	2.81	3.84	4.16	4.49	4.95	5.36	5.43	5.38
<b>Tp (s)</b>	20.00	20.00	20.00	20.00	18.36	18.36	18.36	18.36	18.36	18.36	18.36
<b>Mínimo</b>											
<b>Hsig (m)</b>	0.00	0.00	0.01	0.02	0.08	0.12	0.03	0.16	0.18	0.19	0.23
<b>Hswell (m)</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Tp (s)</b>	1.67	1.67	1.67	1.67	1.82	2.35	2.16	3.93	3.93	3.93	3.93
<b>Média</b>											
<b>Hsig (m)</b>	0.25	0.28	0.41	0.53	0.84	1.09	1.25	1.54	1.69	1.76	1.78
<b>Hswell (m)</b>	0.06	0.05	0.08	0.15	0.43	0.62	0.75	0.96	1.07	1.10	1.11
<b>Tp (s)</b>	7.15	6.95	6.64	6.97	9.52	9.95	10.13	10.28	10.30	10.29	10.28
<b>Hswell (m) /Hsig (%)</b>	22.6%	17.7%	20.4%	28.7%	50.4%	57.0%	60.2%	62.6%	63.0%	62.9%	62.5%
<b>Desvio Padrão</b>											
<b>Hsig (m)</b>	0.26	0.33	0.51	0.56	0.73	0.80	0.84	0.90	0.93	0.94	0.93
<b>Hswell (m)</b>	0.12	0.12	0.22	0.31	0.56	0.67	0.75	0.87	0.92	0.94	0.94
<b>Tp (s)</b>	3.96	3.83	3.89	3.90	2.50	2.16	2.07	2.01	1.98	1.99	1.99

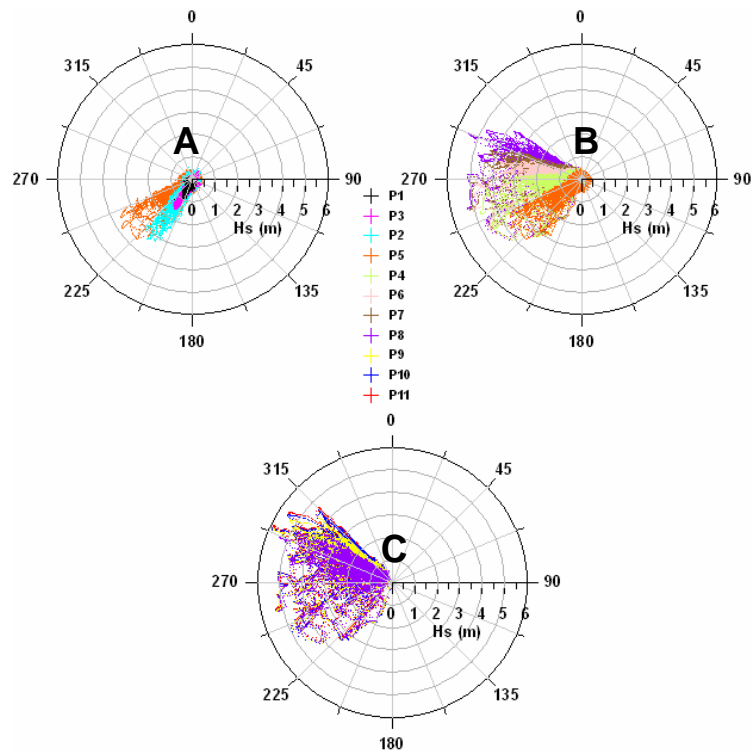
Como complemento à análise dos parâmetros estatísticos da agitação e de forma a analisar a direcção da agitação, são representados no ANEXO I os histogramas polares para a altura significativa e para o período de pico. No ANEXO II são apresentados os histogramas de barras para estes mesmos parâmetros.

Analisando os histogramas de barras (ANEXO II) da altura significativa, observamos que de uma forma geral verifica-se claramente um aumento deste parâmetro de norte para sul. No Banco do Cambalhão (P1) os valores de altura significativa

ocorrem 99.97 % no intervalo entre 0 e 1m, na extremidade norte do ALTS (P3) e a sul do Banco do Cambalhão (P5) cerca de 90 % dos valores encontram-se na mesma classe entre 0 e 1m. A primeira classe (0-1m) é dominante até ao largo da Praia do Pinheirinho, para sul deste ponto a classe dominante é a compreendida entre 1 e 2m, com uma taxa de ocorrências próxima dos 50%. Só ocorrem valores superiores a 4m para os pontos a sul do P5 e superiores a 5m nos pontos a sul do Canhão de Setúbal (P6). Nos últimos três pontos da extremidade sul do ALTS os histogramas são muito idênticos. Sendo a segunda classe (1-2m) claramente dominante e as adjacentes muito idênticas com cerca de 18% de ocorrências cada.

Para o período de pico os histogramas de barras evidenciam dois comportamentos claramente distintos entre a extremidade norte e a restante extensão do ALTS. Nos primeiros quatro pontos (P1, P2, P3 e P5) predominam períodos de pico mais baixos sendo a classe com mais ocorrências a primeira (0 a 6s). A taxa de ocorrências diminui gradualmente até à quarta classe (10 – 12s), existindo apenas 10% de ocorrências nas classes de período superior. A partir do ponto a norte do canhão de Setúbal (P4) a classe dominante é a quarta (10 a 12s) com um intervalo de ocorrências de 35 a 50%. Para as classes seguintes o número de ocorrências cai bruscamente para valores inferiores a 8%. Ao contrário do que acontece nos quatro pontos a norte (P1, P2, P3 e P5) em P6, P7, P8, P9, P10 e P11 a taxa de ocorrências aumenta gradualmente até à classe compreendida entre 10 e 12s.

Analisando a Figura IV.19 e os histogramas polares do ANEXO I, verificamos que ocorre a rotação gradual da direcção da agitação de Sudoeste para Noroeste à medida que analisamos o ALTS de norte para sul. Nos pontos P1, P2, P3 e P5 quase toda a agitação provém do quadrante Sul – Oeste. Nos pontos a sul de P5 observa-se que agitação provém preferencialmente de WNW. A Figura IV.19 esquematiza a rotação da direcção da agitação ao longo do ALTS, a norte a direcção provem maioritariamente de SW com alturas significativas e períodos de pico menores. Na parte central do ALTS a direcção varia entre SW e NW tal como na zona sul.



**Figura IV.19 – Diagramas polares de altura significativa para os pontos off-shore. Os pontos estão representados de Norte para Sul. A – pontos P1, P2, P3,e P5; B – pontos P5, P4, P6 e P8; C – pontos P8, P9, P10 e P11.**

Os resultados obtidos revelam que o padrão da agitação marítima ao largo do ALTS sofre o efeito de alguns acidentes fisiográficos. É notório o efeito sombra do Cabo Espichel sobre a direcção e altura significativa. O extremo norte do ALTS está protegido da agitação de NW até ao ponto P4 (Norte do Canhão de Setúbal). O Cabo Espichel provoca uma difracção da agitação e por este motivo predomina a agitação de WSW e SSW em P1, P3, P2 e P5. Verifica-se também uma diminuição da altura significativa nestes pontos. Este efeito é notório quando a agitação provém do quadrante Oeste – Norte ou seja mais de 90% do tempo do período de estudo. Os dados de  $T_p$  e o peso do Hswell na altura significativa indicam que a fronteira de influência do Cabo Espichel situa-se entre P5 e P4. Este efeito está de acordo com os resultados obtidos por outros autores (e.g. Quevauviller, 1987, Gama, 2005, Jacob et al, 2009). A agitação também é fortemente influenciada pelo Banco do Cambalhão. Na área delimitada por este acidente fisiográfico a altura significativa e o período de pico diminuem drasticamente.



### ***IV.2.3.2. Períodos de temporal***

A análise da agitação em situações de temporal ao largo do ALTS, incidiu sobre os períodos de temporal identificados a partir dos registos da bóia de Sines para os períodos em que obtivemos registos válidos<sup>1</sup> (*Tabela IV.2*). Para os períodos em que não existem registos da bóia ondógrafo, foram utilizados os dados resultantes das simulações do SWAN na localização da bóia de Sines. Foi assim possível identificar mais dois temporais (a escuro na *Tabela IV.8*) a acrescentar à lista original.

***Tabela IV.8 – Temporais identificados para o período de 01 Fevereiro de 2009 a 01 Junho de 2010. A escuro são representados os temporais identificados a partir das simulações do modelo SWAN.***

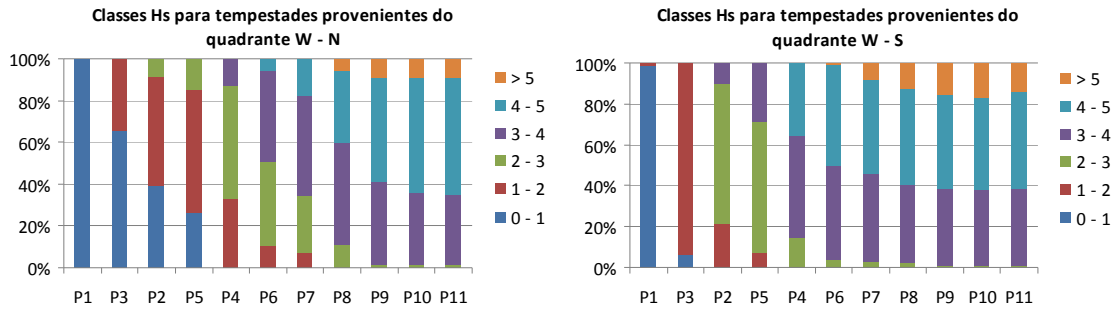
DATA INICIAL	DATA FINAL	DURAÇÃO (dias)	Hs_med (m)	Hsmax (m)	DIRmed (°)	DIRmax (°)	DIRmin (°)	T02med (s)	Tpmax (s)
30-01-09 12:00	03-02-09 03:00	3.63	5.07	6.43	282	312	223	9.12	13.57
04-02-09 9:00	06-02-09 18:00	2.38	5.30	6.42	303	312	293	9.83	15.37
04-03-09 18:00	06-03-09 3:00	1.38	3.95	4.52	314	320	303	7.44	14.08
21-10-09 6:00	22-10-09 18:00	1.50	3.84	4.52	319	328	309	8.21	13.50
21-12-09 16:00	25-12-09 9:00	3.75	4.09	4.89	251	276	230	7.30	11.96
28-12-09 10:00	01-01-10 16:00	4.29	4.63	5.33	267	314	305	8.45	14.20
11-01-10 0:00	11-01-10 15:00	0.63	4.26	4.89	259	283	233	7.49	10.88
12-01-10 9:00	15-01-10 0:00	2.63	4.94	6.52	297	308	259	8.42	12.60
05-02-10 11:50	06-02-10 18:00	1.26	4.69	5.78	311	319	303	10.79	15.29
08-02-10 0:00	09-02-10 21:00	1.88	4.24	4.71	289	302	271	8.84	16.27
22-02-10 9:00	26-02-10 6:00	3.88	4.53	5.49	300	320	252	8.22	12.96
27-02-10 15:00	28-02-10 5:33	0.61	4.60	5.38	258	284	228	7.85	10.90
30-03-10 13:25	30-03-10 18:00	0.19	4.45	4.66	317	317	316	8.95	14.57
16-04-10 6:00	16-04-10 12:00	0.25	4.19	4.62	228	231	222	7.38	10.85

---

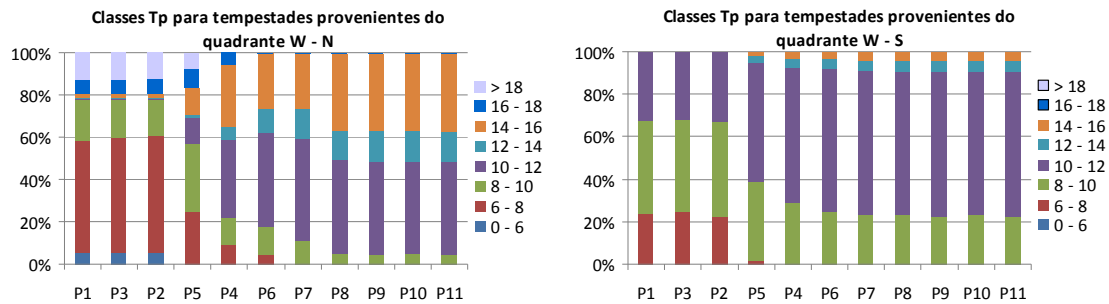
<sup>1</sup> Descartaram-se os temporais anteriores a 01-02-2009 00:00h, pois este foi o período do início da simulação do SWAN.

Tendo em conta a direcção da agitação, foram identificados dois grupos de temporais. Um grupo com temporais provenientes do quadrante W – N e temporais provenientes do quadrante W – S.

As Figuras IV.20 e IV.21 contêm os histogramas dos valores da altura significativa e do período de pico, para os dois grupos de temporais descritos.



**Figura IV.20 – Classes de altura significativa para os temporais provenientes do quadrante Oeste – Norte (à direita) e do quadrante Oeste – Sul (à esquerda).**



**Figura IV.21 – Classes de período de pico para os temporais provenientes do quadrante Oeste – Norte (à direita) e do quadrante Oeste – Sul (à esquerda).**

Como se pode observar para os temporais provenientes do quadrante W – N a altura significativa vai aumentando gradualmente de norte para sul. Observam-se ocorrências da classe de 1 a 2m nos pontos a norte até ao ponto ao largo da Praia do Pinheirinho. Para o outro grupo de temporais isso só ocorre até ao ponto a sul do Banco do Cambalhão. Para temporais provenientes do quadrante W – N só se observam alturas significativas superiores a 3m nos pontos a sul do ponto P4 inclusive, para os outros temporais esses valores de altura significativa só não ocorrem no Banco do Cambalhão e

a norte deste. Em temporais do quadrante W – N só ocorrem alturas superiores a 5m do ponto P8 para sul inclusive. Para temporais provenientes do quadrante W – S só ocorrem alturas superiores a 5m do ponto P7 para sul inclusive. Para ambos os grupos de temporais no Banco do Cambalhão raramente a altura significativa ultrapassa o 1m.

Para o período de pico observa-se uma grande homogeneidade dos histogramas para os temporais provenientes do quadrante W – S, a classe predominante a sul do Banco do Cambalhão é a de 10 a 12s. Para os temporais provenientes do quadrante W – N os histogramas mostram que a sul do Banco do Cambalhão predominam os períodos de pico de 10 a 14s. Para a região do Banco do Cambalhão predominam os períodos mais baixos (6 a 10s).

Em situações de temporal provenientes do quadrante W – N o Cabo Espichel provoca um efeito sombra que se faz sentir do ponto P4 (38.318° N) para norte. Em situações de temporal provenientes do quadrante W – S é o Banco do Cambalhão que provoca uma alteração nos parâmetros de agitação (Hs e Tp) do ponto P5 (38.388° N) para norte (Figura IV.22).

Jacob *et al.* (2009) identificaram um empolamento da altura significativa imediatamente a norte do Canhão de Setúbal em períodos extremos de temporal provenientes de NW. Apesar de não ser tão evidente, na Figura IV.22 identifica-se também um ligeiro empolamento nessa zona para as mesmas condições. Jacob *et al.* 2009 utilizaram no seu trabalho um modelo estacionário em que as condições de temporal eram muito mais severas do que as encontradas no período estudado no presente trabalho. Este resultado observa-se também no capítulo seguinte aquando da análise da zona de rebentação (Figuras V.9 e V.10).

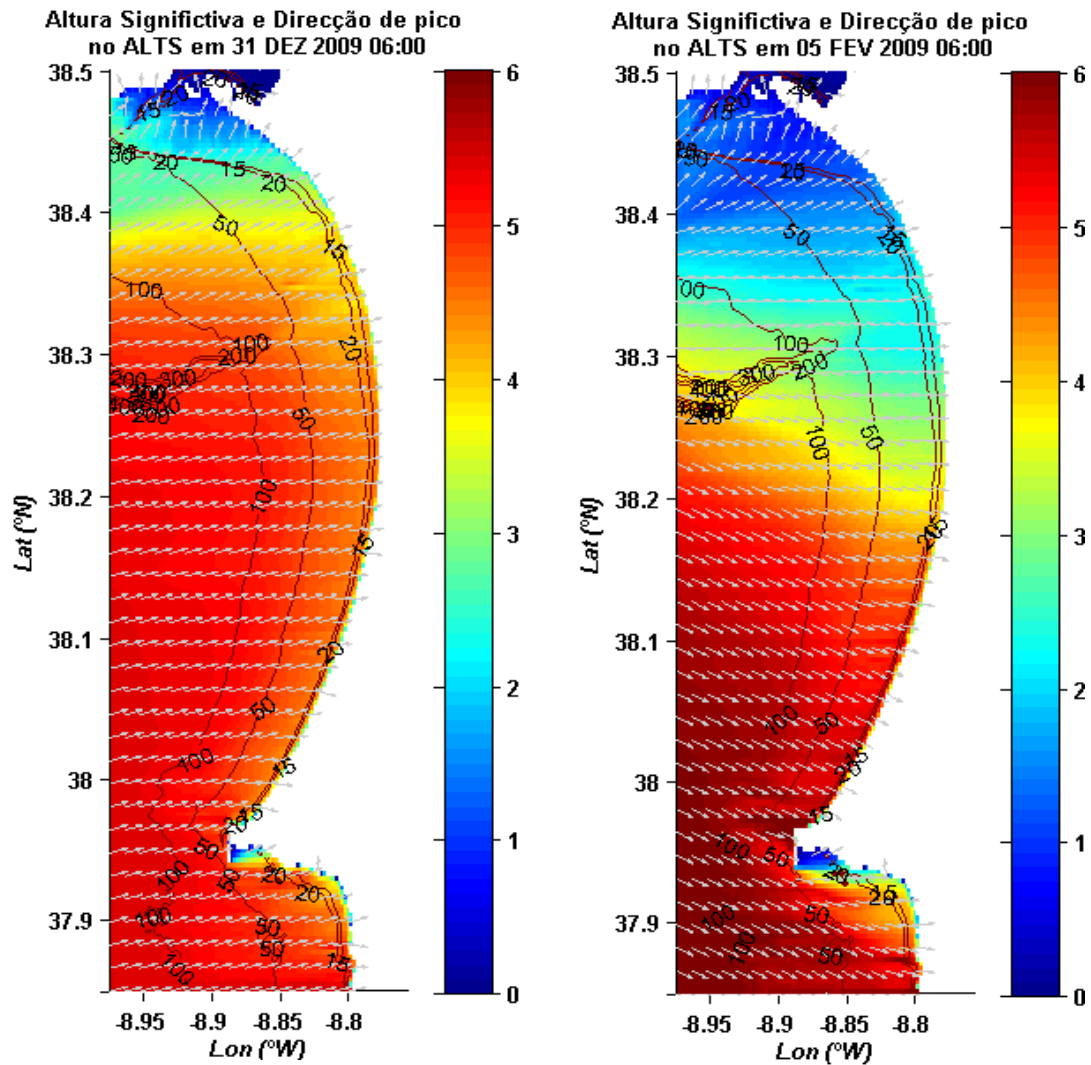


Figura IV.22 – Representação da área para uma situação extrema de temporal proveniente de Sudoeste (à esquerda) e uma situação extrema de temporal proveniente de Noroeste (à direita).

### ***IV.2.3.3. Geração de agitação local***

Os dados resultantes da simulação indiciam que a norte do Canhão de Setúbal o Hswell possui pouco peso nos valores de altura significativa. Isto deve-se em grande parte ao efeito sombra provocado pelo Cabo Espichel. A análise da agitação nesta região revela que ocorrem períodos em que esta se faz sentir de N e NNE. Sabemos também que nesta área os valores médios de  $T_p$  são próximos de 7s. Estas constatações sugerem a ocorrência de geração de agitação local.

Após uma análise aos dados de agitação, encontraram-se alguns períodos em que de facto ocorreu geração de agitação local. Na imagem A da Figura IV.23 podemos observar claramente este fenómeno. Neste caso em concreto, a agitação na zona da bóia de Sines provem de NW (setas azuis na imagem) e possui valores inferiores a 1m de altura significativa. O vento sopra de norte (setas amarelas na imagem) com alguma intensidade. Como se observa, a direcção de pico possui uma resultante idêntica à do vento a partir dos  $38.13^\circ\text{N}$  que se estende até aos  $38.46^\circ\text{N}$  de latitude, provando assim a geração de agitação local. Na extremidade norte do ALTS a direcção de pico volta a ter uma resultante diferente da do vento evidenciando a zona de sombra provocada pela Serra da Arrábida. É também possível observar um empolamento da agitação na zona de geração.

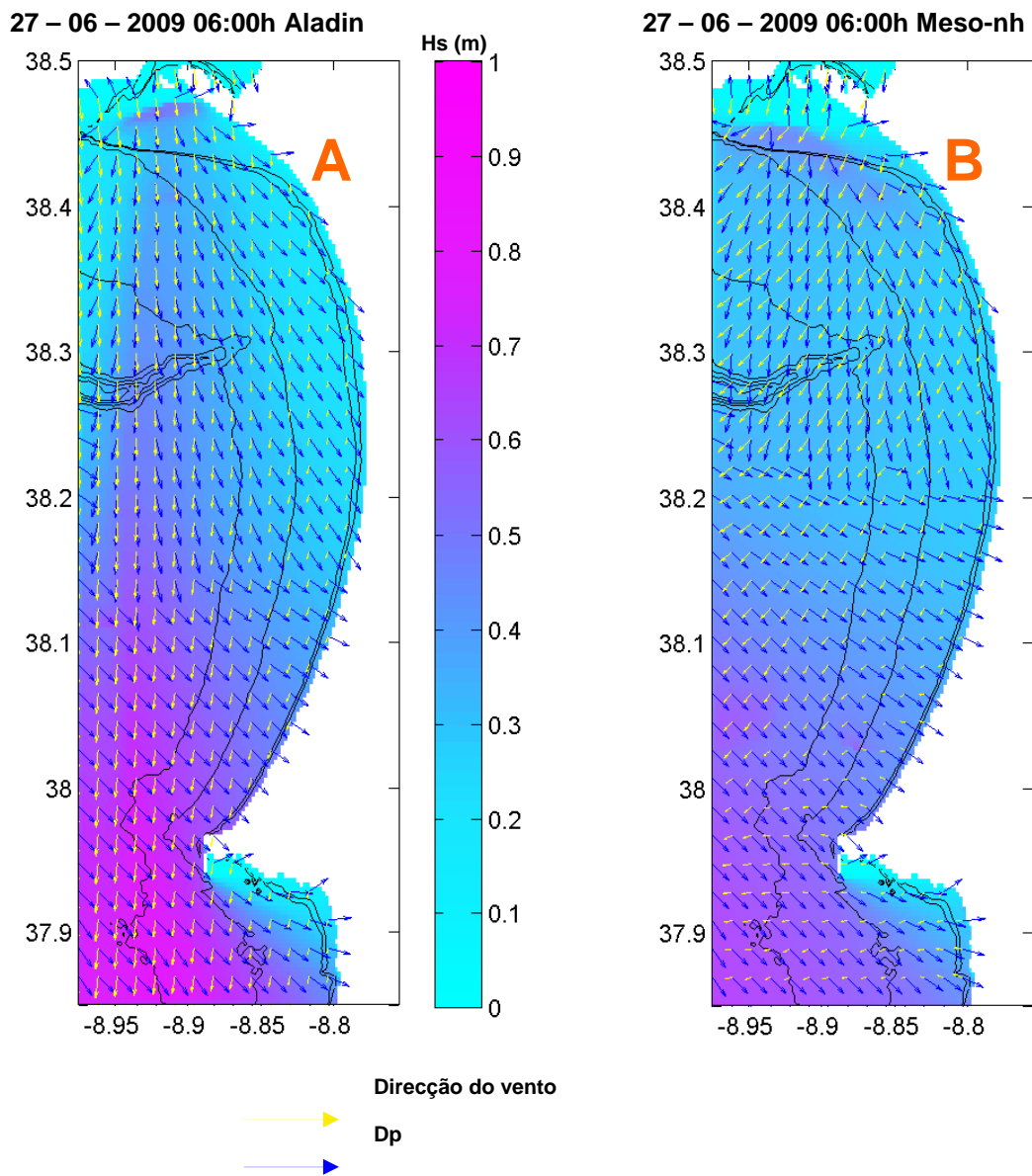
Nas simulações de agitação realizadas para o período de estudo usou-se o campo de ventos obtido através do modelo meteorológico de previsão ALADIN (*capítulo IV.2.1*). Este modelo possui uma resolução de  $8 \times 8$  km. Para situações em que o vento local não altera os parâmetros de agitação (situações de Swell) esta resolução é suficiente e o modelo representa correctamente o campo do vento. Mas em situações em que a agitação é modificada pelo vento local, onde efeitos de escala não representável numa grelha de  $8 \times 8$  km podem originar resultados menos satisfatórios. Para testar estas situações recorreu-se a simulações de alta resolução ( $1 \times 1 \text{ km}^2$ ) com o modelo atmosférico não hidrostático de mesoscala, Meso-NH (Lafore *et al.*, 1998).

Uma descrição detalhada do Meso-NH pode ser encontrada em <http://mesonh.aero.obs-mip.fr/mesonh/>. O modelo pode simular circulações atmosféricas com diferentes escalas, com uma resolução horizontal que pode ir de alguns metros a várias dezenas de quilómetros e pode ser executado com grelhas acopladas (grid nesting), o que permite resolver simultaneamente circulações de grande escala e fenómenos de pequena escala sobre domínios específicos.

O modelo Meso-NH integra um pacote muito completo de parametrizações de diferentes tipos de processos físicos observados na atmosfera, podendo ser activados ou desactivados dependendo do problema em estudo. Esses esquemas incluem a parametrização das interacções com a superfície, através do SURFEX (e.g. Salgado e LeMoigne, 2010), da radiação, da turbulência (Bougeault e Lacarrère, 1989), da microfísica das nuvens e precipitação (e.g. Pinty *et al.*, 2002) e da convecção (Bechtold *et al.*, 2001), como discutido brevemente a seguir.

Para este trabalho, o modelo foi configurado com dois domínios horizontais aninhados. O domínio maior, modelo pai, abrangendo 320 km (N-S) por 400 km (E-W), foi estabelecido com 64 x 80 pontos de grelha e uma resolução de 5 km; e o segundo (modelo filho) com 100 x 120 pontos de grelha e uma resolução de 1 km. O campo do vento produzido pelo modelo a 1 km de resolução foi utilizado para forçar o modelo de agitação marítima.

As simulações do modelo Meso-NH foram inicializadas e forçadas a partir das análises do Centro Europeu de previsão do Tempo a Médio Prazo (ECMWF), disponíveis de 6 em 6 horas.



**Figura IV.23 – Geração de agitação local no ALTS. Imagem A representa o campo de ventos obtido através do modelo ALADIN (setas amarelas), a direcção de pico (setas azuis) e altura significativa obtidos através de simulação. Imagem B representa o campo de ventos obtido através do modelo Meso-NH (setas amarelas), a direcção de pico (setas azuis) e altura significativa obtidos através de simulação.**

Foram escolhidos dois períodos em que se observou a ocorrência de geração de agitação local, de 26 a 29 de Março de 2009 e de 21 a 24 de Setembro de 2009. Para estes períodos foi corrido o modelo Meso-NH. Importa aqui referir que só foram

utilizados períodos de 3 dias devido ao facto de o modelo Meso-NH, com esta configuração, ser computacionalmente pesado e a capacidade de cálculo, actualmente disponível no CGE (Centro de Geofísica de Évora), não permitir a realização de simulações de longo período.

Simulou-se a agitação marítima com o modelo SWAN para os períodos em cima referidos. As simulações foram idênticas às que se fizeram para o período de estudo total (Capítulo IV.2.1), excepto o campo de ventos utilizado. Neste caso utilizou-se o campo de ventos obtido pelo modelo Meso-NH.

Na imagem B da Figura IV.23 está representado o campo de ventos obtido através do modelo Meso-NH, a direcção de pico e a altura significativa. Comparando a imagem B e A da figura observa-se que o campo de ventos é claramente diferente. Isto leva a que a área onde ocorre geração de agitação local também seja diferente.

Na Figura IV.24 estão representadas três séries de alturas significativas para a posição da bóia de Sines. Duas correspondem às simulações usando os campos de ventos dos dois modelos de previsão atmosférica utilizados e outra aos valores registados na bóia ondógrafo de Sines. Como se pode observar para alturas significativas inferiores a 1m existem diferenças entre os valores das duas simulações. Quando a altura significativa ultrapassa 1m os valores das duas simulações são praticamente idênticos. Também podemos identificar este aspecto nos gráficos de dispersão da Figura IV.25.

Para os dois períodos representados na Figura IV.24, os valores de altura significativa da simulação utilizando o campo de ventos do Meso-NH têm maior correlação com os valores registados na bóia de Sines, como se pode verificar na Figura IV.25.

Neste caso em concreto a localização da bóia ondógrafo de Sines não é a melhor para se comparar e analisar as duas simulações, pois esta zona é menos propícia à geração de agitação local.



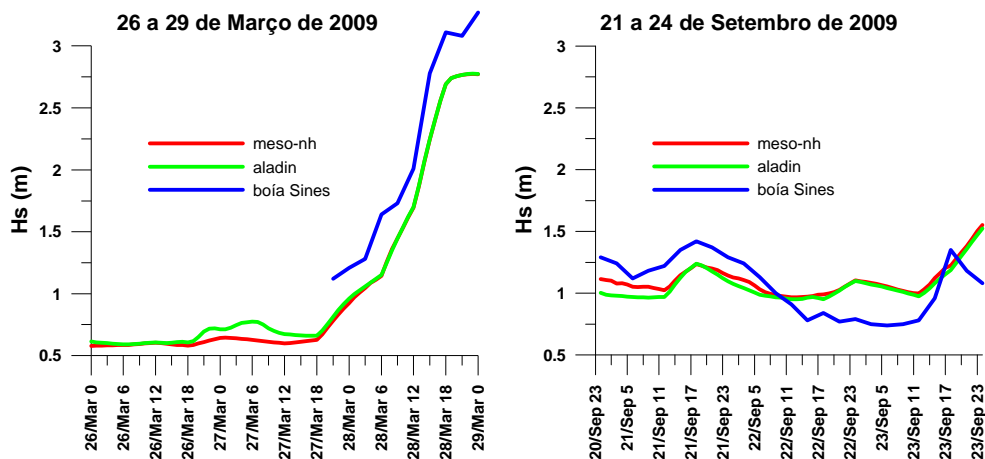


Figura IV.24 – Altura significativa ( $H_s$ ) na posição da bóia ondógrafo de Sines. A linha vermelha representa os dados da simulação utilizando o campo de ventos do modelo Meso-NH. A linha verde representa os dados da simulação utilizando o campo de ventos do modelo ALADIN. A linha azul representa os valores registados na bóia ondógrafo de Sines.

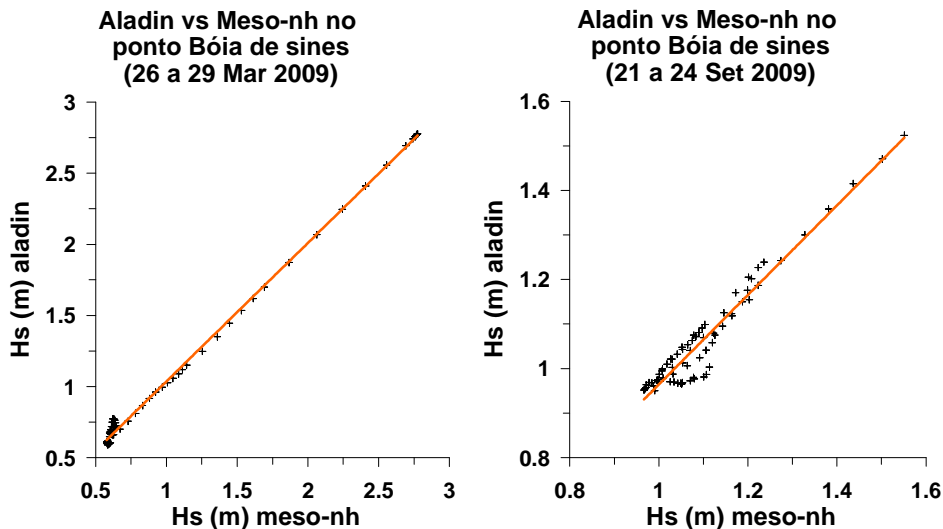


Figura IV.25 – Diagramas de dispersão para a altura significativa da simulação usando o campo de ventos obtido com o ALADIN versus altura significativa da simulação usando o campo de ventos obtido com o Meso-NH.

Neste trabalho procede-se à caracterização da agitação para o período de estudo. Assim sendo quisemos quantificar, localizar e identificar quando ocorre a geração de agitação local ao longo do ALTS. Para tal a ocorrência de geração de agitação local tem de obedecer a dois critérios. O primeiro indica que o  $H_{sea}$  tem de ser superior ao  $H_{swell}$  no parâmetro de altura significativa. O segundo diz que a resultante da direcção de pico tem de ser semelhante à resultante do campo de ventos. Considerou-se então que sempre

que o Hsea for superior ao Hswell e a diferença da direcção do vento com a direcção de pico for menor que 20° ocorre geração de agitação local.

Na Figura IV.26 estão representadas as percentagens de ocorrências mensais de geração de agitação local para cada ponto off-shore. Para o período de estudo, a geração de agitação local possui um comportamento sazonal. Existem mais episódios de geração local nos meses de Verão do que nos meses de Inverno. Este comportamento evidencia de facto uma relação da taxa de ocorrências com o regime de nortada característico nos meses de Verão. Ocorre também uma variação da taxa de ocorrências ao longo do ALTS. Do ponto P5 inclusive, para norte, a geração de agitação local é mais frequente. Este facto evidencia também aqui o efeito do Cabo Espichel e da Cadeia da Arrábida, sobre o campo de ventos locais e sobre a geração local de agitação.

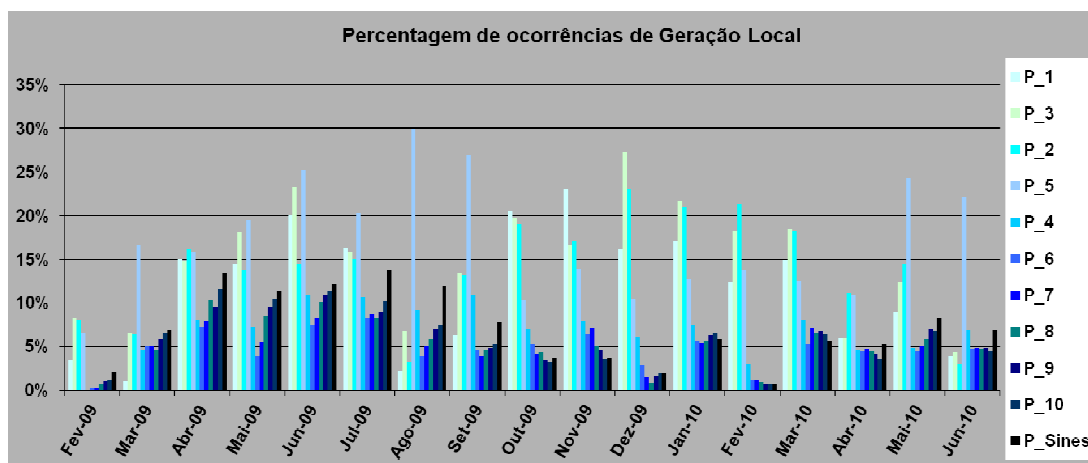


Figura IV.26 – Percentagens de ocorrências mensais de geração de agitação local para cada ponto off-shore.

## CAPITULO V      Zona de Rebentação do ALTS

Para caracterizar as condições de agitação na rebentação ao longo do ALTS foram utilizados os resultados das simulações realizadas tendo por base a grelha SWAN\_2 (Capítulo IV.2.1, Figura IV.15). Foram escolhidos dezasseis pontos junto à linha de costa (*Tabela V.1* e *Figura V.1*) tendo como critérios os possíveis constrangimentos que possam afectar o clima de agitação, e as alterações morfológicas observadas através dos resultados das campanhas efectuadas no âmbito do projecto INSHORE (“Sistema Integrado de Alta Resolução Operacional para a Monitorização de Praias”-PTDC/AMB/73169/2006).

*Tabela V.1 – Localização dos pontos utilizados para caracterizar a agitação marítima junto à linha de costa (pontos ordenados de norte para sul).*

<b>Referencia</b>	<b>Designação</b>	<b>Latitude (°)</b>	<b>Longitude (°)</b>
<b>P_in_16</b>	Troia (norte do campo de Golfe)	38.47750	-8.90141
<b>P_in_15</b>	Troia (sul do campo de Golfe)	38.47030	-8.89305
<b>P_in_14</b>	2.1 km SSE marco Malha da Costa	38.41180	-8.82282
<b>P_in_13</b>	Praia da Torre	38.35060	-8.79648
<b>P_in_12</b>	Praia do Carvalhal	38.30470	-8.77935
<b>P_in_11</b>	Sul da Praia da Raposa	38.23630	-8.77694
<b>P_in_10</b>	Sul do P Campismo da Galé	38.19490	-8.77994
<b>P_in_9</b>	Praia do Pinheirinho	38.15890	-8.78718
<b>P_in_8</b>	Norte da praia da Lagoa de S. André	38.11750	-8.79862
<b>P_in_7</b>	Lagoa de S. André	38.10400	-8.80357
<b>P_in_6</b>	Praia do Monte Velho	38.08420	-8.81137
<b>P_in_5</b>	Sul da Praia de Fonte cortiço	38.04280	-8.82892
<b>P_in_4</b>	Lagoa da sancha	38.02660	-8.83696
<b>P_in_3</b>	Sul do Marco Caracola	38.00410	-8.84903
<b>P_in_2</b>	Norte da Ribeira de Moinhos	37.98520	-8.86006
<b>P_in_1</b>	Sul da Praia Norte	37.97440	-8.86934

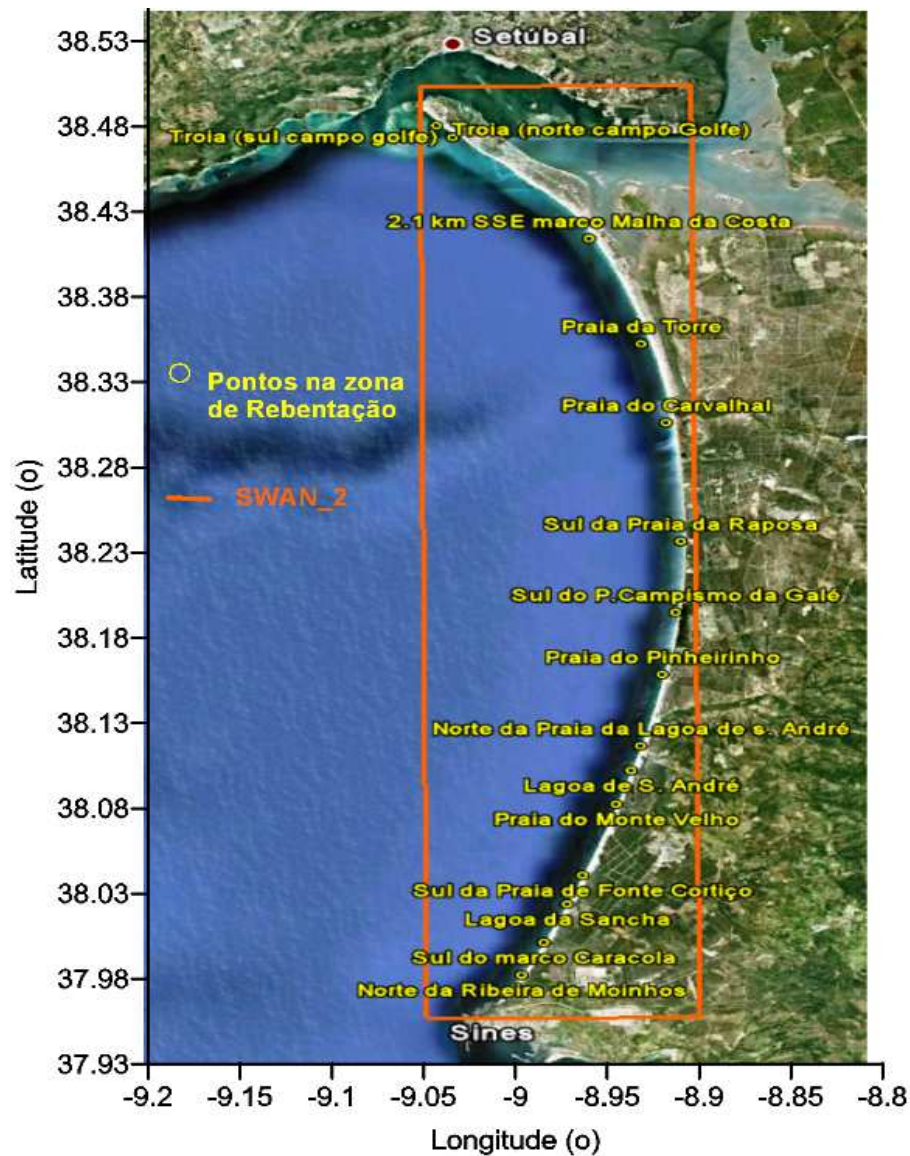


Figura V.1 – Localização dos pontos utilizados para caracterizar a agitação marítima junto à linha de costa.

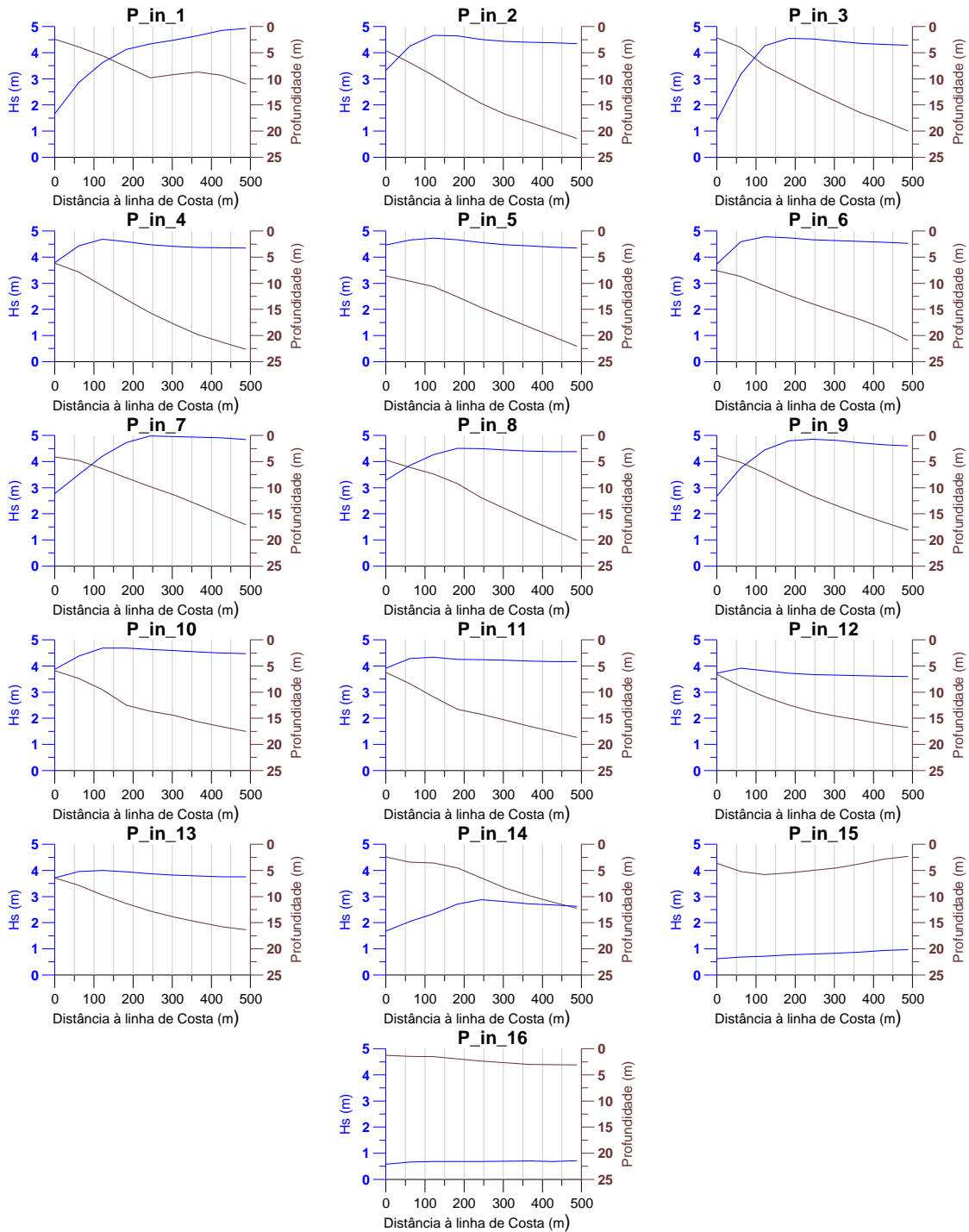
Os dados de output do SWAN para cada ponto foram retirados na zona de rebentação, esta zona não é estática e varia ao longo do tempo de acordo com o efeito da maré e as características da ondulação incidente. Utilizou-se então um método para definir a zona de rebentação ao longo do tempo. Esta zona foi definida como a zona onde a onda tem maior probabilidade de sofrer empolamento. Assim, para cada latitude, consideraram-se apenas as células que se encontram a 500 metros da linha de costa,

tendo-se determinado o ponto de rebentação na célula que apresenta uma altura significativa mais elevada. Para uma melhor compreensão do texto, a essa faixa de 500 metros daremos o nome de faixa de rebentação. Na Figura V.2 estão representadas a altura significativa e a profundidade para a faixa de rebentação na latitude dos dezasseis pontos, para um período de temporal (30-12-2009 às 00:00h) e na *Tabela V.2* os declives do fundo para a mesma faixa. Através dos perfis das profundidades podemos observar que ao longo da ALTS os declives na faixa de rebentação vão variando.

**Tabela V.2 – Declives do fundo na faixa de rebentação para os pontos de output da simulação SWAN\_2.**

	Declives na Faixa de Rebentação (°)									Média
	0m	61m	122m	183m	244m	305m	366m	427m	488m	
<b>P_in_1</b>	1.41	1.57	2.01	1.94	-0.58	-0.43	0.56	1.59	1.55	1.07
<b>P_in_2</b>	2.22	2.31	2.61	2.38	1.96	1.36	1.50	1.46	0.89	1.85
<b>P_in_3</b>	1.68	3.27	2.29	2.14	2.06	2.00	1.52	1.77	1.67	2.04
<b>P_in_4</b>	1.57	2.49	2.49	2.37	2.05	1.85	1.32	1.30	1.31	1.86
<b>P_in_5</b>	0.97	0.99	1.84	1.95	1.73	1.72	1.75	1.73	2.20	1.65
<b>P_in_6</b>	1.04	1.72	1.67	1.52	1.41	1.41	1.66	2.15	2.26	1.65
<b>P_in_7</b>	0.60	1.53	1.60	1.62	1.50	1.70	1.83	1.83	1.46	1.52
<b>P_in_8</b>	1.37	1.20	1.70	2.53	1.97	1.96	1.89	1.86	3.16	1.96
<b>P_in_9</b>	1.26	1.95	2.12	1.95	1.69	1.61	1.46	1.34	1.00	1.60
<b>P_in_10</b>	1.41	2.05	2.78	1.06	0.76	1.14	0.93	0.83	0.74	1.30
<b>P_in_11</b>	2.07	2.36	2.22	0.93	1.02	1.11	1.00	1.01	1.15	1.43
<b>P_in_12</b>	2.17	1.81	1.51	1.17	0.87	0.71	0.72	0.61	0.53	1.12
<b>P_in_13</b>	1.36	1.72	1.55	1.35	1.10	0.92	0.80	0.55	0.29	1.07
<b>P_in_14</b>	0.96	0.11	0.91	1.79	1.80	1.35	1.24	1.06	0.89	1.12
<b>P_in_15</b>	1.49	0.54	-0.27	-0.44	-0.45	-0.80	-0.83	-0.47	0.01	-0.13
<b>P_in_16</b>	0.21	0.05	0.41	0.37	0.34	0.26	0.07	0.02	-0.16	0.17

As maiores diferenças encontram-se no ponto a sul da Praia Norte, até 250m da costa observa-se uma zona com um declive médio próximo de 0,5°, daí até à linha de costa o declive médio ronda 1.7°. Também os dois primeiros pontos a norte no ALTS apresentam um perfil muito diferente por se encontrarem junto ao Banco do Cambalhão. Todas essas diferenças nos declives da faixa de rebentação ao longo do ALTS e os próprios parâmetros das ondas irão influenciar a determinação da zona de rebentação ao longo do período de estudo.



**Figura V.2 – Altura significativa (azul) e Profundidade (castanho) para uma distância de 500 m até à linha de costa na latitude dos dezasseis pontos de output da simulação SWAN\_2 para o dia 30-12-2009 às 00:00h.**

Na Figura V.3 estão representados os valores médios da profundidade na rebentação e da distância da rebentação à linha de costa, para os 16 pontos considerados neste capítulo. Observamos que a rebentação ocorre mais perto da linha de costa na zona central do ALTS, afastando-se nos extremos. As profundidades são claramente menores na zona do Banco do Cambalhão.

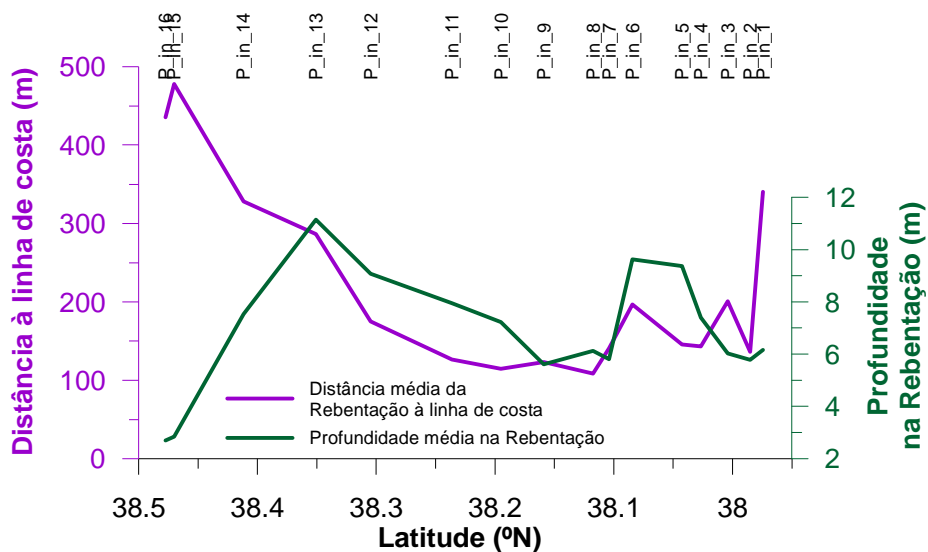
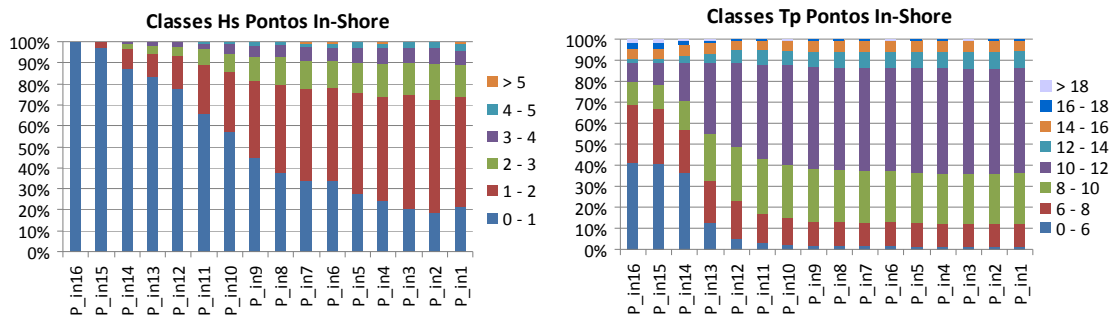


Figura V.3 – Valores médios para a profundidade na rebentação e distância da rebentação à linha de costa para os 16 pontos considerados ao longo do ALTS.

## V.1. Agitação na Zona de Rebentação

Neste capítulo será importante identificarmos as diferenças nos parâmetros de agitação ao longo de toda a linha de costa. Estas diferenças serão importantes quando no capítulo seguinte se proceder à análise da relação da agitação com o padrão morfológico da praia emersa.

Na Figura V.4 estão representadas as frequências relativas anuais para os parâmetros de Hs e Tp, na zona de rebentação em todos os pontos considerados. Para o período de estudo ocorre uma diminuição gradual da altura significativa de Sul para Norte. No extremo norte do ALTS a altura significativa nunca ultrapassa os 2m. Observando o histograma referente ao período de pico consegue-se identificar claramente uma fronteira entre períodos característicos de *swell* e de *sea*. Os períodos inferiores a 8s são dominantes desde o extremo norte do ALTS até à Praia da Torre. A partir deste ponto para sul os períodos de pico característicos de swell são claramente dominantes. Este facto evidencia o efeito sombra do Cabo Espichel na agitação. No capítulo anterior já se tinha identificado esta fronteira na agitação ao largo. Com base na análise do capítulo anterior e na análise da agitação na zona de rebentação, podemos concluir que existe claramente uma fronteira longitudinal localizada próximo dos 38.38°N de latitude, isto tendo em conta o período de pico.



**Figura V.4 – Classes de altura significativa (à esquerda) e período de pico (à direita) para os pontos na zona de rebentação.**



### ***V.1.1. Agitação na Zona de Rebentação entre campanhas de campo (Projecto INSHORE).***

Procedemos à análise dos parâmetros de agitação Hs e Tp para os períodos compreendidos entre as campanhas do Projecto INSHORE. Nas Figuras V.5 e V.6 estão representados os valores médios para o Hs e Tp respectivamente para os períodos entre campanhas. Para uma melhor compreensão do texto o período antes da primeira campanha iremos designar por 1º período (01 de Fevereiro a 18 Maio de 2009), entre a primeira e segunda campanha teremos o 2º período (29 Maio a 29 Outubro de 2009) e entre a segunda e terceira campanhas o 3º período (11 Novembro de 2009 a 20 Maio de 2010).

A agitação que antecede o 3º período é sem dúvida o mais energético. Neste período os valores de Hs são em média 0.5m mais elevados do que o 1º período. O 2º período, essencialmente de Verão, é de facto o menos energético. A altura significativa média ao longo do ALTS não ultrapassa os 1.3m, enquanto no 3º período os valores chegam a ultrapassar os 2m na região sul do ALTS. Nos 3 períodos ocorre um decaimento da altura significativa de Sul para Norte. A Norte do campo de golfe de Tróia os valores médios de Hs em momento algum ultrapassam os 0.5m.

Para o Tp médio observamos que os valores médios no 1º e 3º períodos são praticamente idênticos. Para o 2º período os valores são em média 2s inferiores em relação aos outros períodos. Para todos os períodos entre as campanhas os valores médios de Tp são constantes desde o extremo sul até à Praia do Carvalhal. Deste ponto para norte ocorre um decaimento acentuado nos valores de Tp. Mais uma vez é notório o efeito sombra do Cabo Espichel bem como o efeito do Banco do Cambalhão.

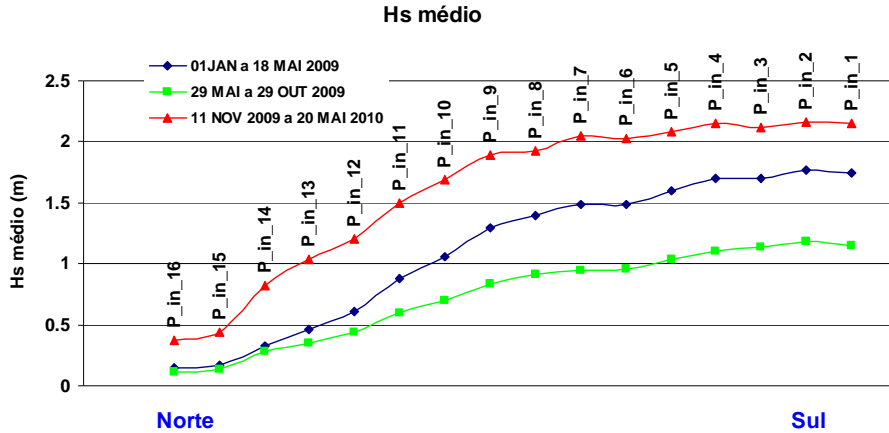


Figura V.5 – Alturas significativas médias para os períodos que antecederam as campanhas de campo ao longo do ALTS (Linha azul: de 01 Janeiro a 18 Maio de 2009; Linha verde: de 29 Maio a 29 Outubro de 2009; Linha vermelha: de 11 Novembro de 2009 a 20 de Maio de 2010).

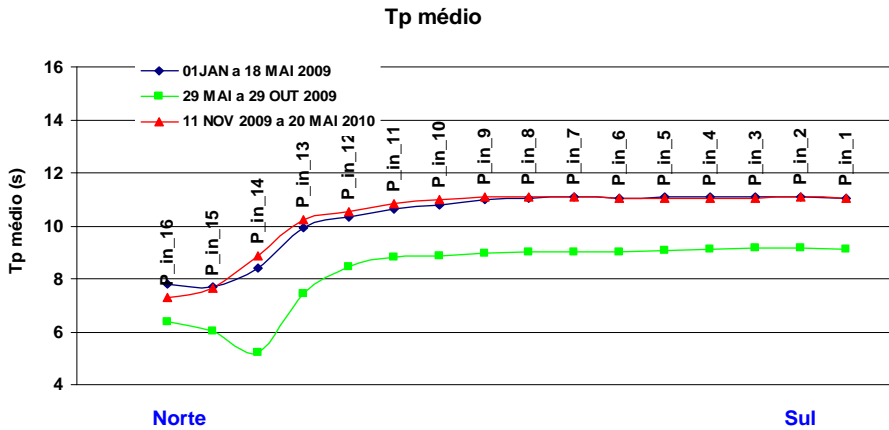


Figura V.6 – Períodos de pico médios para os períodos que antecederam as campanhas ao longo do ALTS (Linha azul: de 01 Janeiro a 18 Maio de 2009; Linha verde: de 29 Maio a 29 Outubro de 2009; Linha vermelha: de 11 Novembro de 2009 a 20 de Maio de 2010).

A direcção das ondas tende a orientar-se perpendicularmente à linha de costa. Este fenómeno ocorre devido à diminuição da profundidade (refracção). O ângulo formado entre a linha de costa e as cristas da onda na rebentação tende a ser na maioria dos casos muito pequeno. A este ângulo dá-se o nome de ângulo de ataque ( $\alpha$ ) (Komar, 1976).

Na Figura V.7 estão representados os valores médios mensais de  $\alpha$  na zona de rebentação ao longo do ALTS. Podemos observar claramente que na região sob

influência do Banco do Cambalhão  $\alpha$  possui valores muito elevados. Na realidade na extremidade sul do Banco do Cambalhão a agitação perde muita energia. Quando as ondas percorrem o Banco do Cambalhão rebentam e reformam-se algumas vezes. Este facto leva a que junto à linha de costa o Hs possua valores muito baixos. Nesta zona o critério de rebentação utilizado pode não ser o melhor. Ou seja estamos a considerar os pontos de rebentação em locais onde as ondas quase já não têm energia.

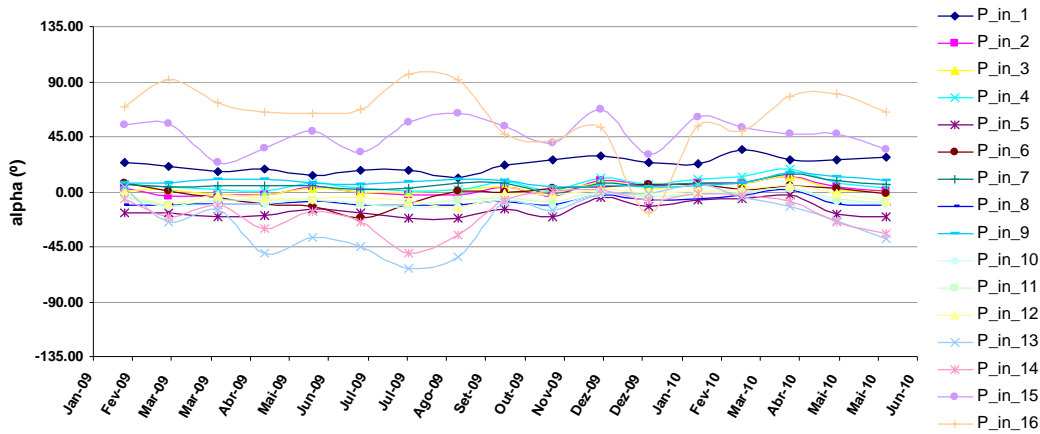


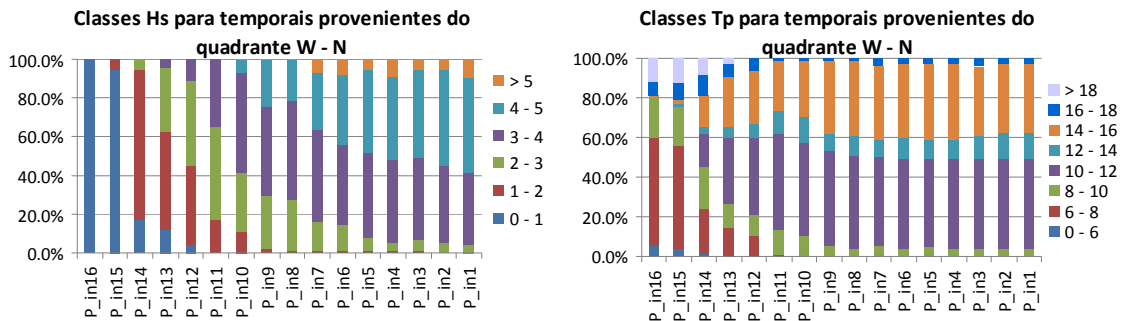
Figura V.7 – Valores médios mensais de  $\alpha$  para os pontos na zona de rebentação ao longo do ALTS.

Nos pontos fora da influencia do Banco do Cambalhão os valores médios mensais de  $\alpha$  são inferiores a  $30^\circ$ . Para a zona central do ALTS esses valores são muito próximos de 0. Da praia da Torre até à extremidade sul do Banco do Cambalhão observa-se um comportamento sazonal de  $\alpha$ , ou seja, nos meses de Verão o valor de  $\alpha$  toma valores mais elevados e com sinal negativo, indicando que a agitação se faz sentir preferencialmente de NW nestes meses. Este facto pode estar associado á geração de agitação local.

### **V.1.2. Agitação na Zona de Rebentação em períodos de temporal.**

No capítulo IV.2.3.2 identificamos os períodos de temporal (*Tabela IV.8*) e dividimos os temporais em duas classes. Temporais provenientes do quadrante W – N e temporais provenientes do quadrante W – S. No presente capítulo iremos usar os mesmos períodos de temporal e as mesmas classes para analisar a agitação na zona de rebentação em eventos de temporal.

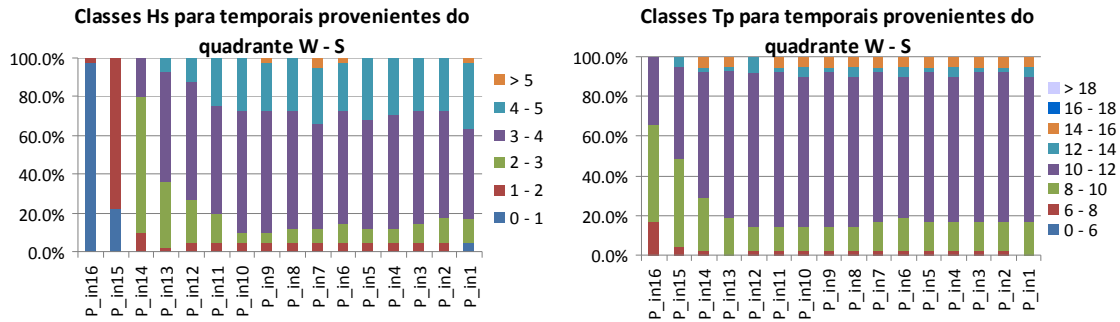
Nas Figuras V.8 e V.9 estão representadas as frequências relativas para Hs e Tp para temporais do quadrante W – N e W – S respectivamente. Numa primeira análise observamos que a agitação na rebentação ao longo do ALTS apresenta o mesmo comportamento que a agitação ao largo. Quer isto dizer que comparando estas figuras com as Figuras IV.20 e IV.21 conseguimos identificar as mesmas zonas de influência do Cabo Espichel e do Banco do Cambalhão. Para temporais do quadrante W - N também aqui ocorre um aumento gradual de Hs ao longo do ALTS de norte para sul. Desde a extremidade sul do ALTS até à Praia do Carvalhal, o período de pico possui um comportamento idêntico. Deste ponto para Norte os períodos mais curtos possuem uma frequência relativa maior. Este comportamento evidencia a fronteira com a região de influência do Cabo Espichel.



**Figura V.8 – Classes de altura significativa (à esquerda) e período de pico (à direita) para os temporais provenientes do quadrante Oeste – Norte.**

Para os temporais provenientes do quadrante W – S a altura significativa e o período de pico possuem o mesmo comportamento desde a extremidade sul até ao ponto P\_in\_14. Deste ponto para Norte as alturas significativas e os períodos de pico mais

baixos possuem maior número de ocorrências. Isto indica que a partir deste ponto estamos possivelmente na presença da influência do banco do Cambalhão.



**Figura V.9 – Classes de altura significativa (à esquerda) e período de pico (à direita) para os temporais provenientes do quadrante Oeste – Sul.**

Nas Figuras V.10 e V.11 estão representadas as alturas significativas médias na rebentação para todos os temporais. A resolução espacial é igual á da grelha da simulação SWAN\_2 (100m em latitude). Pretende-se com estes gráficos definir melhor as fronteiras de influência dos vários elementos fisiográficos em situações de temporal.

Para os temporais provenientes do quadrante W – N a altura significativa diminui gradualmente de Sul para Norte em todo o ALTS. Para os temporais provenientes do quadrante W – S a altura significativa mantém-se constante até aos 38.34° de latitude. A partir dos 38.42° de latitude a altura significativa diminui significativamente devido à presença do Banco do Cambalhão. Este provoca a rebentação da ondulação ao largo, resultando como consequência valores menores de altura significativa na zona de rebentação.

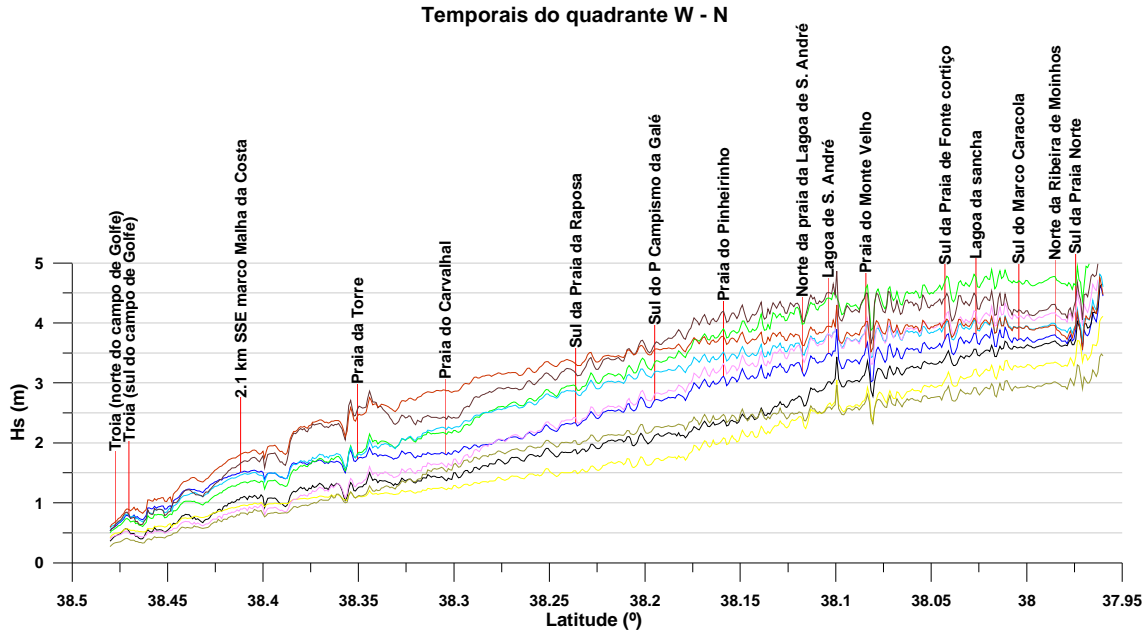


Figura V.10 – Altura significativa média para as tempestades provenientes do quadrante W - N ao longo do ALTS.

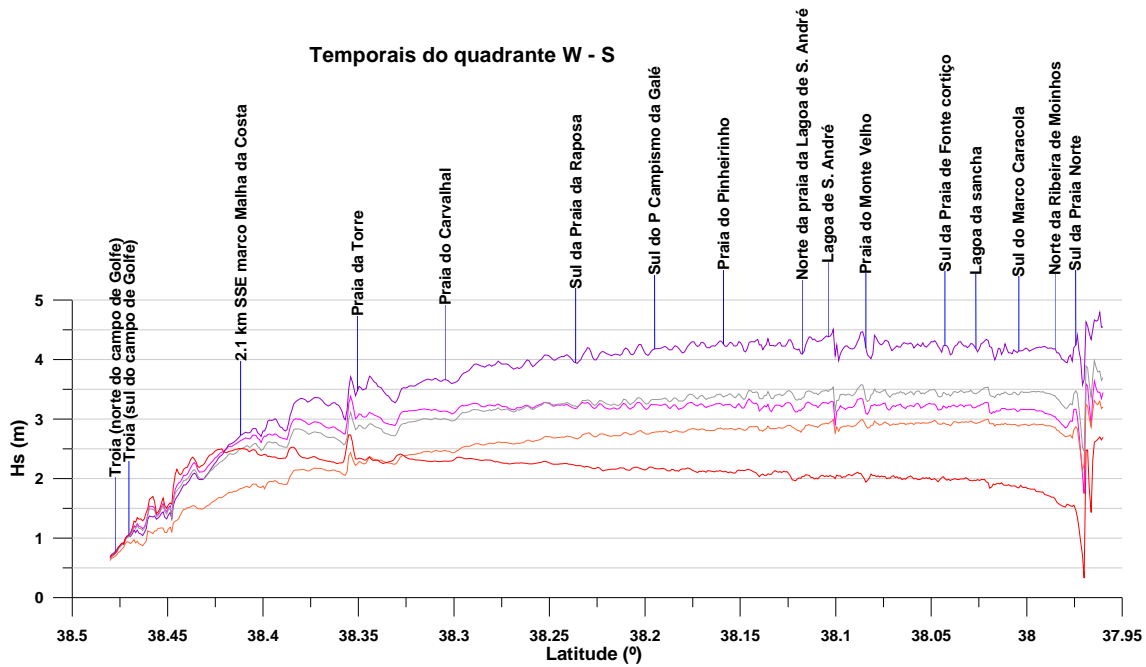
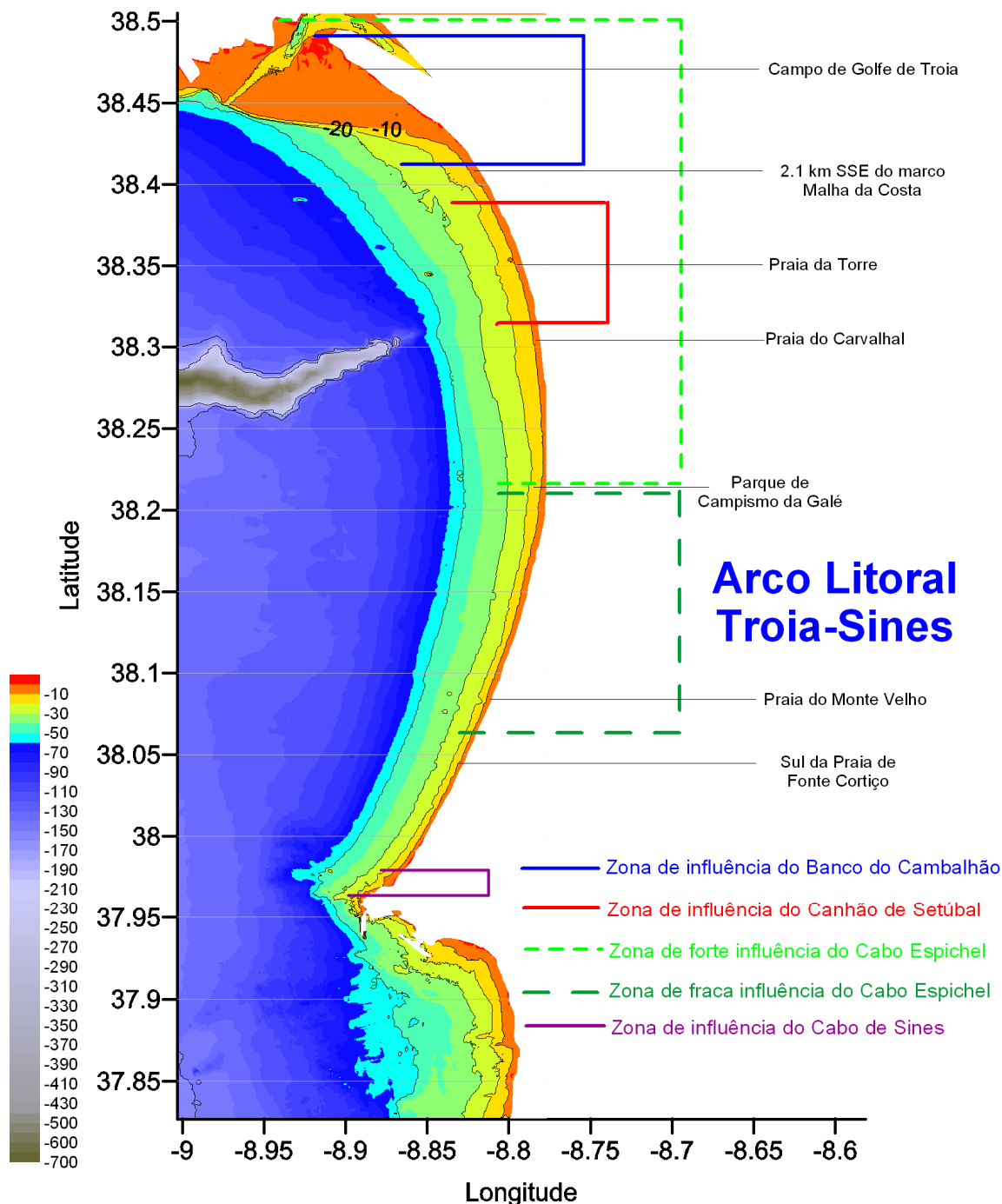


Figura V.11 – Altura significativa média para as tempestades provenientes do quadrante W - S ao longo do ALTS.

Entre os 38.325° e os 38.390° de latitude em todos os temporais observa-se um empolamento seguido de uma diminuição e novo empolamento da altura significativa média. Este comportamento, evidencia de facto o efeito do Canhão de Setúbal na altura

significativa. Na extremidade sul do ALTS observa-se uma estrutura muito irregular que coincide com a zona imediatamente a norte do Cabo de Sines. Nesta zona existe de facto um banco que dependendo da direcção da onda provoca situações de empolamento e atenuação da altura da onda.

Concluí-se de facto que o padrão da agitação é fortemente condicionado pelos elementos fisiográficos. Criou-se então um modelo conceptual da influência do Canhão de Setúbal, Cabo Espichel, Cabo de Sines e Banco do Cambalhão no padrão de agitação marítima, complementando os resultados anteriormente obtidos por outros autores (e.g. Quevauviller (1987); Gama (2005) e Jacob *et. al.* (2010)). Este modelo está esquematizado na Figura V.12. Nela estão identificadas as faixas da linha de costa sob influência dos quatro elementos fisiográficos. Importa referir que as fronteiras não são fixas podendo mover-se tendo em conta o  $H_s$  e o  $D_p$  da agitação que chega à área de estudo. A faixa delimitada pela linha azul representa a zona de influência do Banco do Cambalhão, que se faz sentir para todo o período de estudo. A faixa delimitada pela linha vermelha representa a zona de influência do Canhão de Setúbal, que se manifesta apenas em situações de temporal. As faixas delimitadas pelos tracejados representam as zonas de influência do Cabo Espichel, apenas relevantes quando a agitação provém do quadrante W-N, cerca de 85% do período de estudo. A faixa delimitada pela linha roxa representa a faixa costeira de influência do Cabo de Sines e do banco sedimentar adjacente, esta é mais intensa em períodos de temporal provenientes do quadrante W-S.



**Figura V.12 – Modelo conceptual para a influência dos elementos fisiográficos na agitação marítima.**  
 A linha azul delimita a faixa costeira sob influência do Banco do Cambalhão; A linha vermelha delimita a faixa costeira sob influência do Canhão de Setúbal; O tracejado verde-claro, delimita a faixa costeira sob forte influência do Cabo Espichel; O tracejado verde-escuro, delimita a faixa costeira sob fraca influência do Cabo Espichel; A linha roxa delimita a faixa costeira sob influencia do Cabo de Sines.

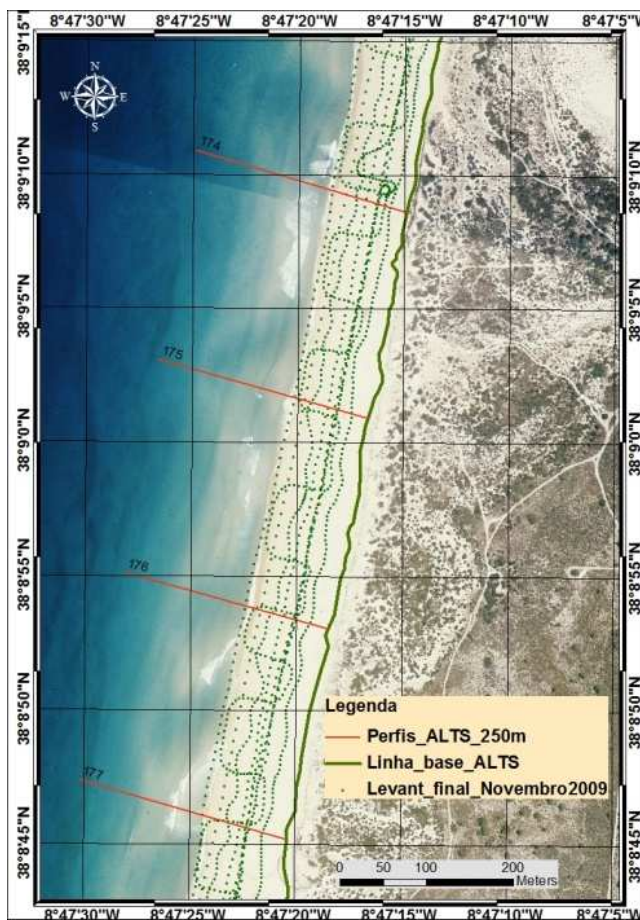


## **CAPITULO VI      Relação entre a Agitação Marítima e o Padrão Morfológico da Praia Emersa**

### **VI.1.    Padrão morfológico da praia emersa (Projecto INSHORE)**

O padrão morfológico da praia emersa é descrito através dos resultados obtidos no âmbito do Projecto INSHORE (INtegrated System for High Operational REsolution in Shore Monitorization) – “Sistema Integrado de Alta Resolução Operacional para a Monitorização de Praias “- Project FCT PTDC/AMB/73169/2006) e disponibilizados para o presente trabalho. Tratam-se por isso de dados inéditos e parte dos mesmos ainda não publicados pelos investigadores afectos ao referido projecto.

Os levantamentos da praia emersa foram realizados através da utilização do protótipo *INSHORE* (Baptista *et al.*2011), que permitiu o levantamento da praia subaérea entre a base da face da praia e o limite interno da praia emersa (duna ou arriba). Na Figura VI.1 é elucidada a configuração da malha de levantamento usada nos levantamentos. A definição da malha respeita as principais variações morfológicas da praia emersa: bermas, cúspides, declive da face da praia e rupturas de escarpas de erosão. De acordo com o espaçamento da rede geodésica de base o veículo realizou o levantamento da área de estudo (65 km de costa arenosa) em vários sectores com extensão de 10km cada. Foi também definida uma linha de base (*baseline*) no limite interno da praia (berma superior *versus* duna ou arriba). Esta marca o limite interno da praia e permite a definição de uma linha contínua que permite a determinação da largura da praia.



**Figura VI.1 – Excerto da malha de levantamento realizada pelo protótipo INSHORE. A verde é identificado o trajecto da moto4, a vermelho os perfis transversais obtidos a partir da aplicação extensão Digital Shoreline Analysis System (DSAS). Dados inéditos e não publicados obtidos no âmbito do projecto INSHORE.**

Os dados de campo, recolhidos pelo protótipo INSHORE, são tratados em pós-processamento (DGPS- Differential Global Positioning System) recorrendo às estações de base definidas ao longo do ALTS. Os resultados finais permitem a obtenção das coordenadas, XYZ (longitude, latitude e elevação), para cada um dos pontos levantados. A elevação é referenciada ao nível médio do mar.

Após o processamento dos dados DGPS obtidos em cada uma das campanhas realizadas (Maio 2009, Novembro 2009 e Maio 2010) para toda a extensão do ALTS, foi possível definir os modelos digitais de terreno (MDT), ao longo dos 65 km. Foi usado o formato *TIN* do software ArcGIS<sup>TM</sup> da *ESRI*. A informação contida nos MDT permite a

obtenção de informação pormenorizada e real da totalidade da praia emersa incluindo: configurações da linha de costa, variação altimétrica das bermas, espaçamento das cúspides.

Tendo por base a informação referente a cada levantamento da praia emersa e sintetizada no respectivo MDT, recorreu-se à extensão *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* (Thieler *et al.*, 2009) que corre no *software* ArcGIS Desktop da *ESRI* (versões 9.x), com o objectivo de descrever a variação longitudinal do ALTS para os três levantamentos em estudo.

Esta extensão permite calcular, de forma automática, a variação da evolução da linha de costa partindo de diferentes séries temporais. É criada informação vectorial linear que define a linha de base da área de estudo (e.g. limite entre a praia emersa e a duna/arriba, designada por linha de base no presente trabalho), mantida fixa entre os diferentes levantamentos, e a linha de costa (no presente trabalho cota dos 2m, NMM) correspondente a cada levantamento. Partindo da linha de base, a extensão DSAS gera transeptos perpendiculares à linha de base, equidistantes e de acordo com a escolha do utilizador. O intervalo escolhido entre transeptos foi de 250 metros num total de 271. Este método foi usado na definição da largura da praia para cada um dos levantamentos realizados.

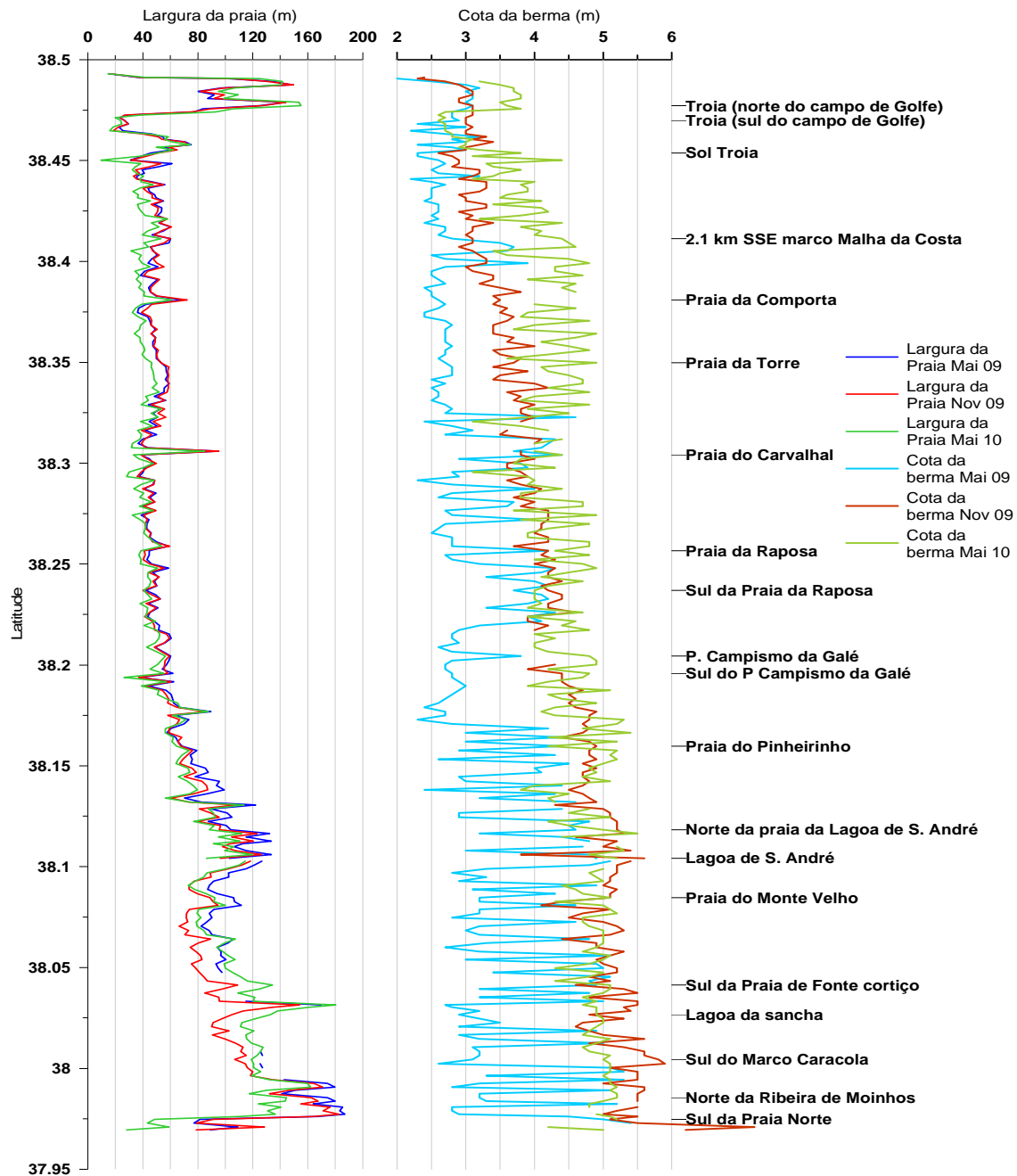
Tendo por base os dados dos MDT para cada campanha foi ainda determinada a cota da berma frontal ao longo do ALTS, analisando para o efeito o perfil de cada um dos 271 transeptos definidos. O procedimento foi moroso mas permitiu a obtenção de informação rigorosa sobre o padrão altimétrico da berma ao longo do ALTS.

Os resultados são apresentados na Figura VI.2. É perceptível a tendência geral da configuração do ALTS que descreve um aumento da largura da praia de norte para sul, padrão já descrito anteriormente por alguns autores (e.g. Gama, 2005). Um padrão muito idêntico foi encontrado através da análise comparativa da variação da configuração da linha de costa no período compreendido entre 1996 e 2002, utilizando imagens de fotografia aérea (Albardeiro *et al.*, 2009; Gama *et al.*, 2009a e Gama *et al.*, 2009b).

Podemos também observar que as extremidades do ALTS possuem um comportamento idêntico, nesses locais a largura da praia varia em cerca de 100m aproximadamente, em curtos troços de praia. Mais nenhum local do ALTS possui uma variação tão elevada. Desde o empreendimento Sol-Troia até ao Parque de campismo da Galé a largura da praia apresenta variações pequenas. Neste troço as larguras são mais constantes excepto na praia do Carvalhal em que há um aumento da largura da praia de aproximadamente 60m, resultante da destruição de parte da duna frontal. Do parque de campismo da Galé para sul acentua-se o aumento na largura da praia. Neste troço observam-se também as maiores variações na largura da praia, oscilando estas entre os 75 e os 180m.

A cota da berma apresenta valores e comportamentos muito diferentes entre campanhas. Assim sendo a análise deste parâmetro será feita no capítulo VI.2, bem como a análise entre campanhas para os valores de largura da praia.

CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA  
NO ARCO LITORAL TRÓIA-SINES E SUA RELAÇÃO COM O PADRÃO MORFODINÂMICO DA PRAIA EMERSA



**Figura VI.2 – Variação longitudinal da largura da praia emersa (cota 2m) e variação longitudinal da cota da berma frontal (MLS), ao longo do ALTS. Dados inéditos e não publicados obtidos no âmbito do projecto INSHORE.**

## **VI.2. Influência da agitação marítima no padrão morfológico da praia emersa**

Neste subcapítulo iremos interpretar a variação do padrão morfológico apresentado pela praia emersa com base na análise dos parâmetros da agitação marítima incidente. Para tal utilizaremos a análise da agitação feita nos capítulos anteriores bem como a componente da energia longitudinal das ondas, calculada a partir da agitação marítima verificada no período em estudo.

Anteriormente já definimos o ângulo de ataque ( $\alpha$ ) como sendo o ângulo formado entre a linha de costa e as cristas da onda na rebentação (Capítulo V.1.1). Quando as ondas rebentam, sofrem um espraio sobre a face da praia, que pode atingir a berma frontal e que possui uma direcção herdada das características da onda ao largo. Depois do espraio ocorre a ressaca em que a água percorre a face da praia em sentido oposto ao espraio (em direcção ao mar) e sempre na linha de maior declive, ou seja, perpendicular à linha de costa. Muito raramente não ocorre um desfasamento angular entre o espraio e a ressaca. A repetição deste processo leva ao estabelecimento de uma corrente longitudinal designada de deriva litoral (Andrade, 1998).

Podemos quantificar o fluxo de energia correspondente à componente longitudinal da potência das ondas ( $P_l$ ) pela seguinte expressão (Komar, 1976):

$$P_l = (ECn) \text{sen} \alpha_b \cos \alpha_b, \quad (6.1)$$

em que  $\alpha_b$  (ângulo de ataque na rebentação) condiciona o sentido da corrente de transporte longitudinal. Neste trabalho sinal positivo corresponde a corrente de Sul para norte e sinal negativo indica a corrente de norte para Sul.

Podemos também quantificar a velocidade da corrente longitudinal ( $V_l$ ) (Komar, 1976):

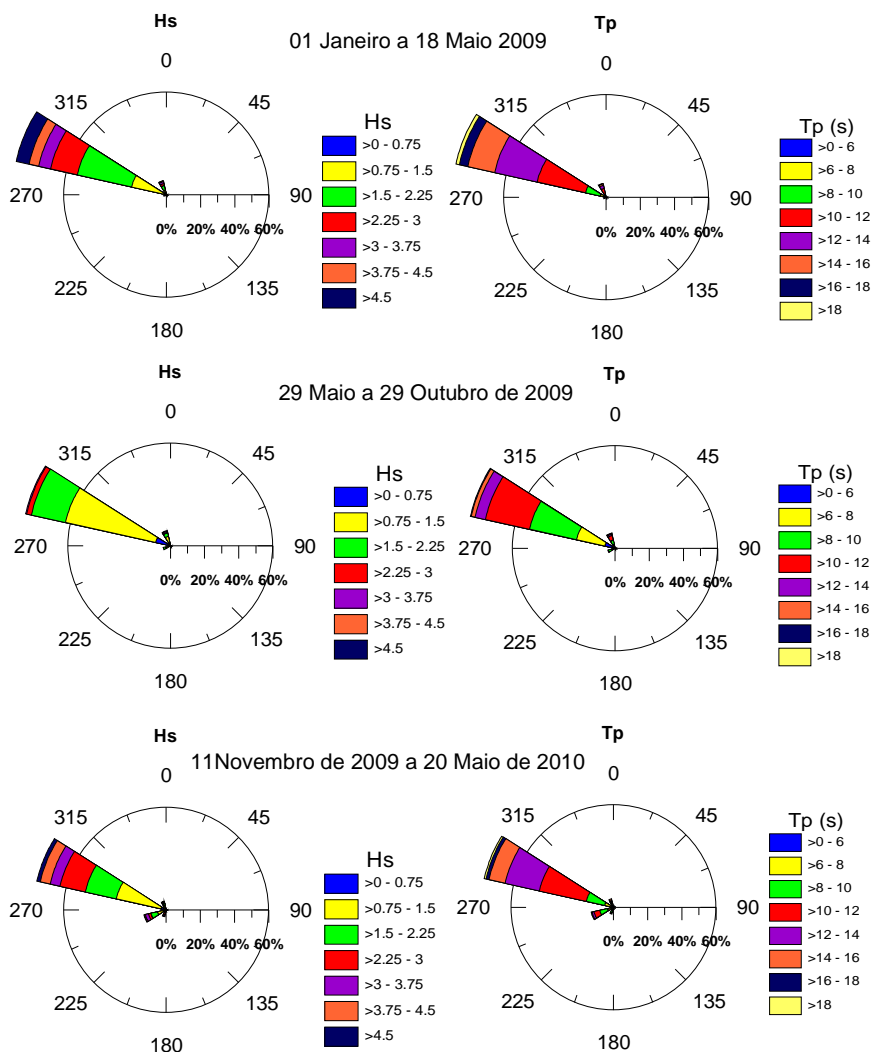
$$V_l = 2.7u_m \text{sen} \alpha_b \cos \alpha_b, \quad (6.2)$$

em que  $u_m$  é o valor máximo da velocidade orbital horizontal na zona de rebentação:

$$u_m = \left( \frac{2E_b}{\rho h_b} \right)^{1/2}. \quad (6.3)$$

Estes dois parâmetros VI e PI irão ser úteis na análise do padrão morfológico da praia emersa e a sua relação com a agitação marítima. Importa ter em conta que o sector costeiro estudado é muito extenso, por este motivo, na análise que se segue iremos destacar tendências e abordaremos o tema de uma forma qualitativa. Iremos ter em conta as características da agitação dos períodos que antecederam as campanhas.

As campanhas de campo foram realizadas em períodos distintos, a primeira (Maio de 2009) e a terceira (Maio de 2010) corresponderam a um período de Verão e a segunda (Novembro de 2009) a um período de Inverno. Os 10 dias que antecederam a campanha de Novembro foram mais energéticos que os dias que antecederam as outras campanhas ocorrendo inclusive um evento de temporal (ANEXO III). Se considerarmos agora períodos longos entre as campanhas, observamos que para a primeira e terceira ocorreram meses muito energéticos (Janeiro e Fevereiro de 2009 e Janeiro e Fevereiro de 2010), apresentando valores médios de Hs na classe de altura de onda entre 1 a 2m superiores, às médias dos últimos 20 anos (Figura IV.3). Os meses que antecederam a segunda campanha foram meses de fraca agitação com valores idênticos aos verificados nos últimos 20 anos. Na Figura VI.3 podemos observar claramente a distribuição das alturas versus direcção da agitação ocorrida antes das campanhas. Importa realçar que para o período que antecedeu a campanha de Maio de 2010 a direcção da agitação teve cerca de 17% de ocorrências do quadrante W – S enquanto que nos outros períodos não ultrapassou os 4%. Neste período que antecede a campanha de Maio de 2010 ocorreram todos os eventos de temporal do quadrante W – S.



**Figura VI.3 – Diagramas polares de altura significativa (Hs) e Período de Pico (Tp) para os períodos antes das campanhas do Projecto INSHORE na boia ondógrafo de Sines.**

Na caracterização geral da praia emersa ao longo do ALTS (Capítulo VI.I) tínhamos referido que existe uma tendência geral de aumento da largura da praia e da cota da berma frontal de norte para sul ao longo do ALTS. Este comportamento prende-se ao facto dos valores de altura significativa aumentarem no mesmo sentido devido à diminuição do efeito de protecção do Cabo Espichel face à agitação predominante de NW (Capítulos IV e V). De facto da Praia da Galé para sul o aumento na largura da praia é mais significativo, correspondendo à zona de menor influência do Cabo Espichel.

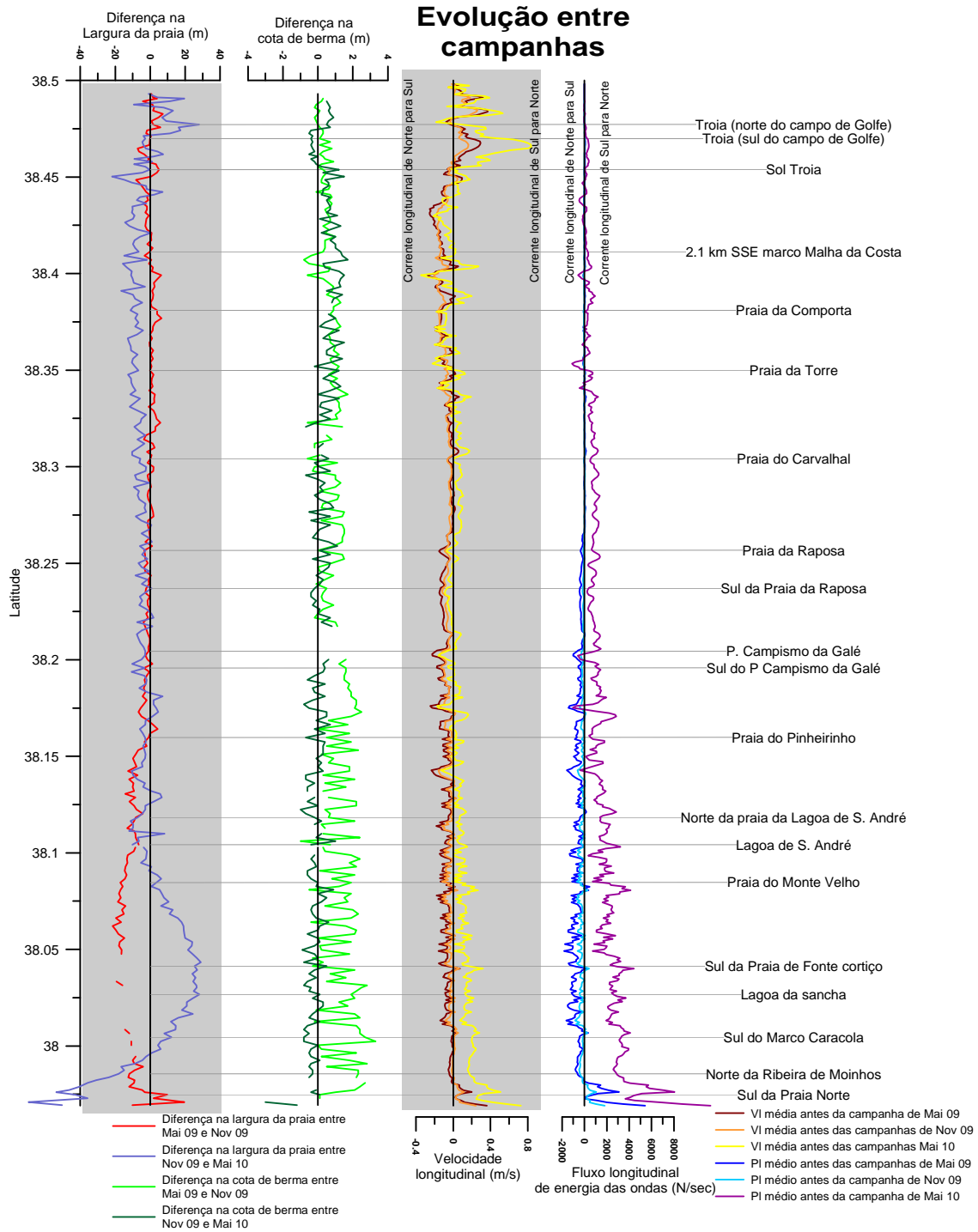


A cota da berma ao longo do ALTS apresenta padrões distintos em cada campanha (Figura VI.2). Na campanha de Maio de 2009 a cota da berma apresenta grandes variações ao longo de pequenos troços de praia. Essas variações vão aumentando de amplitude de norte para Sul. Numa faixa de 7km que se estende desde a Praia do Carvalhal para norte a cota da berma possui poucas variações e apresenta valores mais baixos, de aproximadamente 2.5m. Esta faixa da linha de costa coincide com a faixa onde se sente um empolamento da agitação devido ao Canhão de Setúbal em períodos de temporal (Capítulo V.1.1). Estes comportamentos poderão estar relacionados com o fenómeno acima descrito apesar de nas outras campanhas (Novembro de 2009 e Maio de 2010), principalmente a de Maio de 2010 tal não acontecer. Estas descontinuidades da cota da berma em Maio de 2009 deixam de se fazer sentir logo em Novembro de 2009, apresentando este parâmetro um comportamento mais homogéneo ao longo do ALTS. Quer isto dizer que entre Maio e Novembro de 2009 se registou um período de recuperação sedimentar em ao longo de todo o ALTS.

Na campanha de Novembro de 2009, quando comparado com a campanha de Maio de 2009, é notório o aumento gradual da cota da berma de norte para sul, culminando com um aumento muito acentuado no extremo sul, acompanhado pela diminuição da largura da praia. Este padrão aponta para um reajustamento na distribuição dos sedimentos no sector sul do ALTS. Esta variação pode ter resultado de facto no período que antecedeu esta campanha, se ter verificado uma corrente de deriva litoral de norte para sul, entre a Praia da Raposa e o extremo sul do ALTS, como se depreende dos valores de Pl da Figura VI.4. Quando isso acontece é normal ocorrer deposição nesta zona pois os sedimentos transportados pela deriva litoral terão dificuldade em transpor o Cabo de Sines para sul. Funcionando o cabo como uma barreira ao transporte sedimentar longitudinal para sul (Pombo *et al.* 2006). Na campanha de Maio de 2010 a cota da berma também aumenta de norte para sul, sendo menos marcada a diferença entre o sector norte e sul do ALTS, comparativamente à campanha anterior (Figura VI.2). Na realidade este comportamento está relacionado com o facto de, no período que antecede esta campanha, terem ocorrido os temporais do quadrante W – S, cujo efeito se faz sentir de forma idêntica ao longo de todo o ALTS. Estes temporais são também responsáveis

pelo aumento da cota da berma entre a Praia do Carvalhal e o empreendimento Sol-Tóia, para o período compreendido entre Novembro de 2009 e Maio de 2010.

Na Figura VI.4 estão representadas as diferenças entre os levantamentos realizados no âmbito do Projecto INSHORE no que se refere à variação da largura da praia e à cota da berma frontal, ao longo do ALTS. Estão também representados os valores médios para os períodos totais anteriores às campanhas para a componente longitudinal da potência das ondas (PI) e da velocidade da corrente longitudinal (VI). Para se perceberem melhor as tendências, para os últimos dois parâmetros foi feito um alisamento no espaço usando um filtro de médias móveis com 5 intervalos de pontos médios. Os valores de PI aumentam gradualmente ao longo do ALTS de norte para sul evidenciando o efeito do aumento da altura da onda e da componente longitudinal no mesmo sentido. A norte da Praia da Raposa, para os períodos que antecederam as duas primeiras campanhas, os valores de PI aproximam-se de zero e daí para sul assumem valores negativos até ao extremo sul do ALTS. Para o período que antecedeu a última campanha (Maio de 2010) os valores de PI são positivos entre a Praia da Torre até ao extremo sul do ALTS. O padrão apresentado pelo PI neste período é idêntico ao encontrado para situações de temporais provenientes do quadrante W-S (ANEXO IV). Este facto evidencia que os temporais do quadrante W-S ocorridos neste período, bem como o facto de 17% da agitação nesse período fazer-se sentir do quadrante W-S, induziram o aumento do valor médio do PI. Em todo o período de estudo ocorre um aumento significativo nos valores de PI no extremo sul do ALTS. A velocidade longitudinal apresenta uma intensidade com um comportamento diferente, apresentando nos extremos valores médios mais elevados (0.7 m/s) do que na zona central do ALTS (0.3m/s).



**Figura VI.4 – Evolução da largura da praia e da cota da berma entre campanhas do Projecto INSHORE ao longo do ALTS (Dados inéditos e não publicados). Diferenças da Velocidade longitudinal e Fluxo longitudinal de energia das ondas entre campanhas do Projecto INSHORE ao longo do ALTS.**

É entre a Lagoa de S. André e o extremo sul do ALTS que ocorre a maior variabilidade na largura da praia entre campanhas. Este sector coincide com o sector costeiro considerado no capítulo anterior, como o mais exposto à agitação predominante de NW. O aumento verificado na largura da praia entre a Lagoa de S. André e a Praia de Ribeiro de Moinhos entre Novembro de 2009 e Maio de 2010 é explicado pela variação da magnitude do Pl. Nesta zona o Pl, e para o período que antecede a campanha de campo de Maio de 2010, evidencia uma corrente de deriva litoral de sul para norte, diminuindo a magnitude da mesma no mesmo sentido. Este padrão justifica a deposição de sedimentos entre a Praia de Ribeiro de Moinhos e a Lagoa de S. André.

Na zona central do ALTS (entre a Praia do Pinheirinho e a Praia da Torre) as diferenças na largura da praia entre campanhas são de menor amplitude ou seja, a largura da praia mantém-se mais ou menos constante. Este comportamento pode estar relacionado com o ângulo de ataque da agitação ser muito próximo de zero neste sector costeiro ao longo da quase totalidade do período de estudo (Capítulo V, Figura V.6).

Devido à resolução da malha das simulações do SWAN não nos é possível analisar as correntes transversais (*rip currents*) ao longo do ALTS. Este tipo de processos é de facto muito importante e pode explicar alguns dos padrões da praia emersa evidenciados nas três campanhas realizadas ao longo do ALTS. Estes agueiros são correntes fortes cujas velocidades excedem frequentemente 1m/s (Andrade, 1997) transportando sedimento para a praia submarina.

Procedeu-se ainda à determinação da profundidade de fecho ( $d_c$ ), ao longo do ALTS. Foi então utilizada a fórmula simplificada de  $d_c$  (Hallermeier, 1981):

$$d_c = 2H_{50} + 11\sigma_{H_s}, \quad (6.4)$$

em que  $H_{50}$  é a altura significativa mediana da anual e  $\sigma_{H_s}$  é o desvio padrão da altura significativa média anual.

Na Tabela VI.1 são apresentados os valores da profundidade de fecho para os dezasseis pontos escolhidos na zona de rebentação. Como se observa a  $d_c$  possui valores muito baixos para os pontos localizados sobre o Banco do Cambalhão, daí até ao Parque

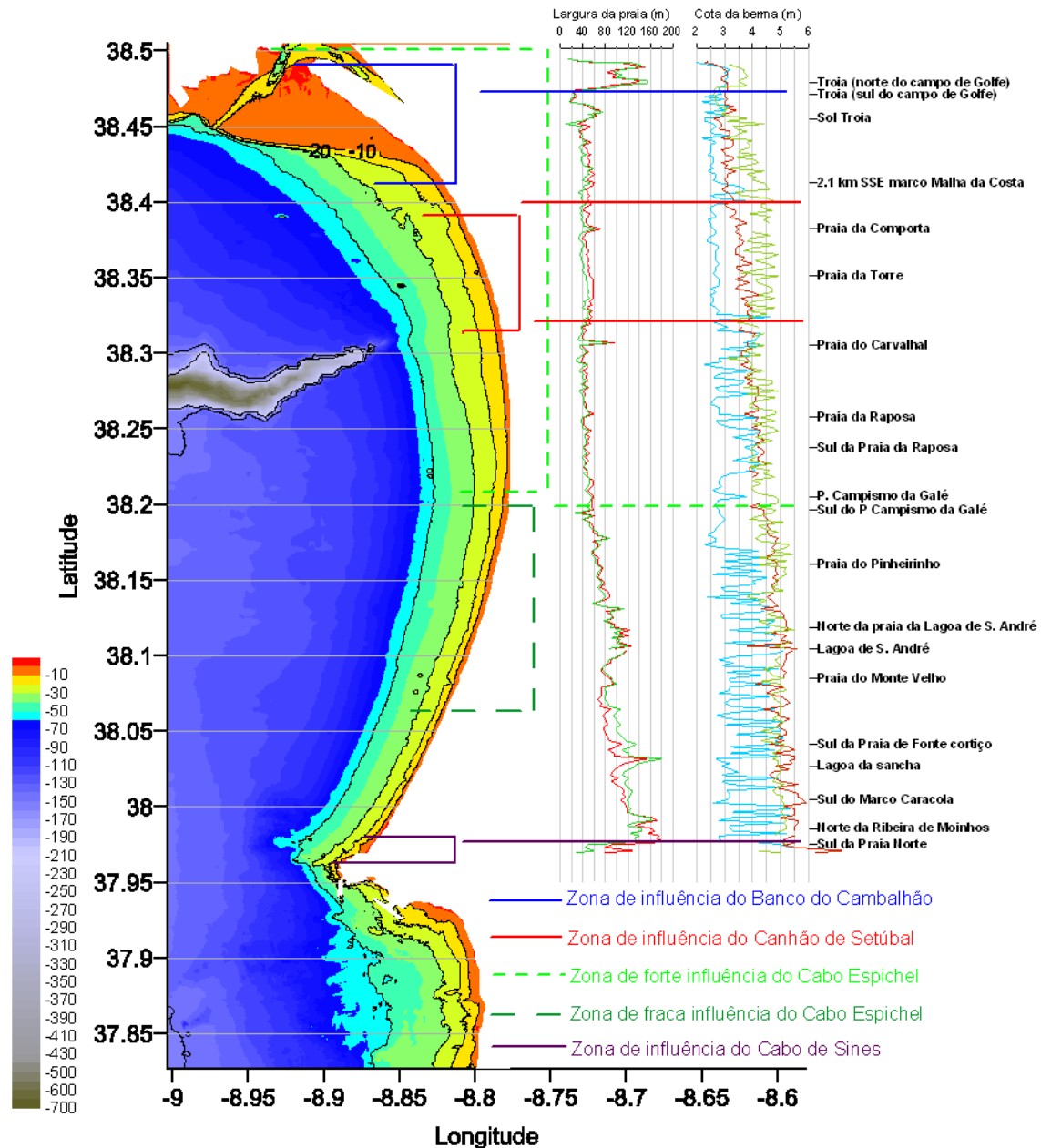
de Campismo da Galé aumenta gradualmente o seu valor e na faixa litoral mais exposta à agitação apresenta valores de aproximadamente 13m.

**Tabela VI.1 – Valores de altura significativa mediana anual ( $H_{50}$ ), desvio padrão da altura significativa média anual ( $\sigma_{Hs}$ ) e profundidade de fecho  $d_c$  para os dezasseis pontos escolhidos na zona de rebentação.**

	$H_{S_{50}}$	$\sigma_{Hs}$	$d_c$
<b>P_in_1</b>	1.40	0.95	13.22
<b>P_in_2</b>	1.46	0.90	12.81
<b>P_in_3</b>	1.40	0.89	12.55
<b>P_in_4</b>	1.40	0.93	13.05
<b>P_in_5</b>	1.31	0.93	12.83
<b>P_in_6</b>	1.22	0.92	12.59
<b>P_in_7</b>	1.23	0.92	12.60
<b>P_in_8</b>	1.18	0.85	11.65
<b>P_in_9</b>	1.09	0.87	11.77
<b>P_in_10</b>	0.89	0.82	10.80
<b>P_in_11</b>	0.75	0.76	9.91
<b>P_in_12</b>	0.53	0.68	8.49
<b>P_in_13</b>	0.39	0.65	7.88
<b>P_in_14</b>	0.28	0.54	6.52
<b>P_in_15</b>	0.14	0.28	3.32
<b>P_in_16</b>	0.12	0.22	2.64

Com o objectivo de integrar os resultados obtidos, é apresentado na Figura VI.5, um modelo conceptual da influência da agitação marítima sobre o padrão morfológico apresentado pela praia emersa no período de estudo. São evidenciados os efeitos dos principais elementos fisiográficos sobre as características da agitação marítima incidente.

Podemos observar que as principais fronteiras encontradas no padrão morfológico da praia emersa, são coincidentes com as encontradas nos Capítulos IV e V aquando da caracterização da agitação marítima.



**Figura VI.5 – Modelo conceptual da influência da agitação marítima no padrão morfológico apresentado pela praia emersa no período de estudo. A linha azul – faixa costeira sob influência do Banco do Cambalhão; A linha vermelha – faixa costeira sob influência do Canhão de Setúbal; Linha a tracejado verde-claro – faixa costeira sob forte influência do Cabo Espichel; Linha a tracejado verde-escuro – faixa costeira sob fraca influência do Cabo Espichel; A linha roxa – faixa costeira sob influência do Cabo de Sines. O gráfico da direita mostra o padrão da variação longitudinal da largura da praia e cota da berma frontal (dados inéditos e não publicados obtidos no âmbito do projecto INSHORE).**

## **CAPITULO VII      Conclusão**

Grande parte do tempo despendido na realização deste trabalho recaiu sobre a caracterização da agitação marítima ao longo do ALTS. O trabalho distingue-se dos anteriores por ter usado um período temporal contínuo de um ano e meio (Janeiro de 2009 a Maio de 2010), tendo sido realizadas as simulações com o modelo SWAN em modo não estacionário, para condições de mar normais e para períodos de temporal. Realizaram-se as simulações do SWAN considerando o campo de ventos definido por dois modelos atmosféricos distintos o ALADIN e o Meso-NH, com diferentes malhas de resolução. A batimetria de base foi composta com os levantamentos mais recentes para a área de estudo.

Foi feita uma análise pormenorizada da agitação para 11 pontos Off-shore do ALTS e 16 pontos junto da linha de costa. Os resultados permitiram concluir que a agitação marítima na área de estudo encontra-se fortemente condicionada pelos vários acidentes fisiográficos existentes (Cabo Espichel, Banco do Cambalhão, Canhão de Setúbal e Cabo de Sines). Foi possível definir dois sectores de influência do Cabo Espichel sobre a linha de costa, um sector de maior influencia entre o extremo norte do ALTS e a Praia da Galé, e um de menor influencia entre a Praia da Galé e a Praia de Fonte Cortiço. Esta diferenciação justifica o padrão morfológico encontrado na praia emersa do ALTS, caracterizado por um aumento da largura e cota da berma frontal para sul.

No extremo norte do ALTS (Tróia) foi possível pormenorizar o efeito do Banco do Cambalhão, tendo sido possível verificar que o mesmo condiciona a agitação proveniente quer do quadrante W-N, quer do quadrante W-S. Na realidade verifica-se que no sector contido entre a Malha da Costa e o extremo norte do ALTS, a agitação média não excede os 0.5m. Apenas em períodos de temporal do quadrante W-S a altura significativa atinge 0.7m. A direcção da agitação predominante é do quadrante W-S quer para períodos em que a agitação ao largo provém do quadrante W-S quer quando provem do quadrante W-N. Nesta mesma área é ainda possível identificar o efeito da geração de agitação local com valores de altura significativa inferiores a 1m e períodos de pico inferiores a 4s.

Contudo o efeito de geração de agitação local estende-se ao longo do ALTS, mas tem uma maior influência entre Tróia e a Malha da Costa.

O Canhão de Setúbal condiciona as características da agitação marítima favorecendo o empolamento das ondas de temporal em cerca de 1m na linha de costa, este efeito traduz-se por uma variação da altura da onda entre a Praia da Comporta e a Praia do Carvalhal.

O Cabo de Sines condiciona a agitação imediatamente a norte deste, para agitação proveniente do quadrante W-S. A altura da onda pode ser atenuada em cerca de 1.5m.

Foi dada especial atenção ao estudo dos períodos de temporal (14 ao longo do período de estudo). O ALTS está parcialmente protegido dos temporais que se fazem sentir do quadrante W-N, devido ao efeito sombra do Cabo Espichel, até à Praia da Galé. Os temporais provenientes do quadrante W-S varrem a totalidade do ALTS até à Malha da Costa. A norte deste ponto, o Banco do Cambalhão é responsável pela diminuição da altura significativa em 2m. No período de estudo, o efeito dos temporais de W-S foi particularmente evidente entre as campanhas de Novembro de 2009 e Maio de 2010, tendo-se verificado uma acumulação sedimentar significativa entre a Praia do Carvalhal e o limite sul do empreendimento Sol-Troia.

O estudo pormenorizado da agitação ao longo do ALTS foi comparado com o padrão morfológico da praia emersa (largura da praia e cota da berma frontal), tendo sido possível relacionar este mesmo padrão com as características de agitação incidente. A largura da praia e a cota da berma tendem a aumentar de norte para sul devido ao aumento da agitação nesse sentido quando esta provém do quadrante W-N (cerca de 85% do período de estudo). Estando assim relacionados estes padrões com o efeito de sombra provocado pelo Cabo Espichel. Quando a agitação provem do quadrante W-S e em períodos de temporal provoca um aumento médio de 0.5m na cota da berma entre a Praia da Comporta e o empreendimento Sol-Troia.

A fraca agitação que se sente devido ao efeito do Banco do Cambalhão na linha de costa adjacente, provoca um aumento na largura da praia entre o extremo norte do ALTS e o extremo sul do campo de golfe de Tróia.



Entre Novembro de 2009 e Maio de 2010 ocorre um aumento da largura da praia no troço costeiro entre a Praia de Ribeiro de Moinhos e a Lagoa de S. André devido ao atenuamento da magnitude da deriva litoral de Sul para Norte nesta zona.

Na zona central do ALTS (entre a Praia do Pinheirinho e a Praia da Torre) no período de estudo ocorrem poucas alterações na largura da praia devido à agitação incidente se aproximar da linha de costa com um ângulo de ataque próximo de zero.

Como trabalho futuro seria importante validar os resultados das simulações do Meso-NH com registos de estações meteorológicas, e analisar de uma forma mais pormenorizada a questão da geração da agitação local na parte norte do ALTS. Apesar do extenso trabalho realizado e do pormenor na análise feita à agitação marítima, seria importante no futuro proceder à determinação dos valores de *run-up*, assim como da magnitude das correntes de retorno (*rip currents*). Estas últimas condicionam a formação e características das cúspides (*beach cups*), podendo assim justificar parte da variabilidade morfológica da praia emersa. Seria também importante realizar simulações do SWAN para pequenos troços da linha de costa, usando uma resolução maior e uma base batimétrica de maior pormenor. Aos resultados permitiriam confirmar algumas das relações apresentadas neste trabalho entre a agitação e o padrão morfológico, assim como pormenorizar o comportamento de sectores particulares como a faixa costeira compreendida entre a Praia do Carvalhal e a Praia da Comporta.

## Bibliografia

Albardeiro, L., Gama, C., & Baptista, P. (2009). Análise das variações espaço-temporais da linha de costa ao longo do Arco Litoral Tróia-Sines. *4º Encontro de pós-Graduação em Ciências físicas e da Terra da Universidade de Évora*. Évora: Universidade de Évora.

Andrade, C. F. (1998). *Dinâmica Erosão e Conservação das Zonas de Praia*. Lisboa: Sociedade Tipográfica.

Baptista, P., Bernardes, C., & Cunha, C. (2011). The validation analysis of the INSHORE system - a precise and efficient coastal survey system. *Environmental Monitoring and Assessment*, 00: 000 - 000. DOI: 10.1007/s10661-011-1873.

Bechtold, P., Bazile, E., Mascart, P., & E., R. (2001). A mass-flux convection scheme for regional and global models. *Q. R. J. Meteorol. Soc.* , 127, pp. 869-886.

Bougeault, P., & Lacarrere, P. (1989). Parameterisation of Orography - Induced turbulence in a Mesobeta-Scale Model. *Mon. Wea. Rev.* , pp. 1872-1890.

Brown, J., Park, D., Colling, A., Phillips, J., Rothery, D., & Wright, J. (1989). *Waves, Tides and Shallow-Water Processes*. Exeter: British Library Cataloguing in Publication Data, BPC Wheatons Ltd.

Costa, M., & Esteves, R. (2008). Clima de Agitação Marítima na Costa de Portugal Continental. *XI Jornadas Técnicas de Engenharia Naval - O Sector Marítimo Português*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

Gama, C. (2005). *Dinâmica de Sistemas Sedimentares do Litoral Ocidental Português a Sul do Cabo Espichel*. PhD thesis. Universidade de Évora, Évora.

Gama, C., Albardeiro, L., & Baptista, P. (2009). Descrição da configuração da linha de costa ao longo do Arco Litoral Tróia-Sines. *VII Reunião do Quaternário Ibérico*. Faro: Universidade do Algarve.

Gama, C., Albardeiro, L., Baptista, P., & Marques da Silva, R. (2009). Alongshore variations of beach configuration along the Tróia-Sines embayed coast (Southwest Portugal). *6º Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica MIA09, 1-5 de Dezembro*. Oviedo: Universidade de Oviedo.

Hallermeier, R. J. (1981). Seaward limit of significant sand transport by waves: an annual zonation for seasonal profiles. *Coas. Eng. Tech. Aid* (81-2), *Coast. Eng. Res. Center, U.S. Army Eng, Wat. Exp. Stat. Vicksbourg, Miss.*, 1-21

Holthuijsen, L. H. (2007). *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Cambridge: Cambridge University Press.

Instituto Hidrográfico. (2006). *Roteiro da Costa de Portugal Continental*. Lisboa: Instituto Hidrográfico.

Jacob, J., Gama, C., Salgado, C., Liu, J., & Silva, A. (2009). Shadowing effects on beach morphodynamics during storm events on Tróia-Sines embayed coast, southwest Portugal. *Journal of Coastal Research, SI56, ICS2009*, 73-77.

Komar, P. D., (1976). *Beach Processes and Sedimentation*, Library of Congress Cataloguing-in-Publication Data, Prentice-Hall Inc., New Jersey.

Lafore, P., Stein, J., Ascencio, N., Bougeault, P., Ducrocq, V., Duron, J., et al. (1998). *The Meso-NH Atmospheric Simulation System. Part I: adiabatic formulation and control simulations. Scientific objectives and experimental design*. *Ann Geophys.* 16, 90-109.

*Meso-NH*. (s.d.). Obtido em 2011, de <http://mesonh.aero.obs-mip.fr/mesonh/>

Pereira, A. (2008). *Modelação da Agitação Marítima em Zonas costeiras*. Dissertação de mestrado para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Arquitetura Naval do Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Pinty, B., Gobron, N., Mélin, F., & Verstraete, M. (2002). *Time Composite Algorithm Theoretical Basis Document*. Institute for Environment and Sustainability.

Pombo, J., Cascalho, J., Rodrigues, A., Taborda, R., & Oliveira, A. (2006). The Sines Sub-Volcanic Intrusive Complex: On The Inner Shelf Sedimentary Cover (Sines, Portugal). *Journal of Coastal research*, SI 39, ICS2006, pp. 250-254.

Pond, S., G. Pickard (1983). *Introductory dynamical Oceanography*. 2<sup>o</sup> edition, Oxford: Pergamon Press

Quevauviller, P. (1987). *Etude Geomorphologique, Sedimentologique et Geochimique du Littoral de Galé et de L'Éstuaire du Sado (Portugal)*. Ph.D. thesis. Bordeaux, France: Université de Bordeaux.

Radnóti, G., Ajjaji, R., Bubnová, R., Caian, M., Cordoneanu, E., et al. 1995. *The spectral limited-area model Arpège-Aladin*. In: PWPR report series n. 7 - WMO TD n. 699, pp. 111–118.

Rossa, E. (2006). *Interface Gráfica para a Previsão de Agitação Marítima*. Dissertação de Licenciatura para obtenção do grau de licenciado em Ciências do Mar da Universidade Lusófona, Lisboa

Rusu, E. (2011). Strategies in using numerical wave models in ocean/coastal applications. *Journal of Marine Science and Technology*, 19, 58-75.

Salgado, R., & LeMoigne, P. (2010). Coupling of the Flake Model to the Surfex externalized Surface Model. *Boreal Enviromental Research*, pp. 231-244.

Short, A. D. (1999). *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Chichester, England: John Wiley, & Sons Ltd.

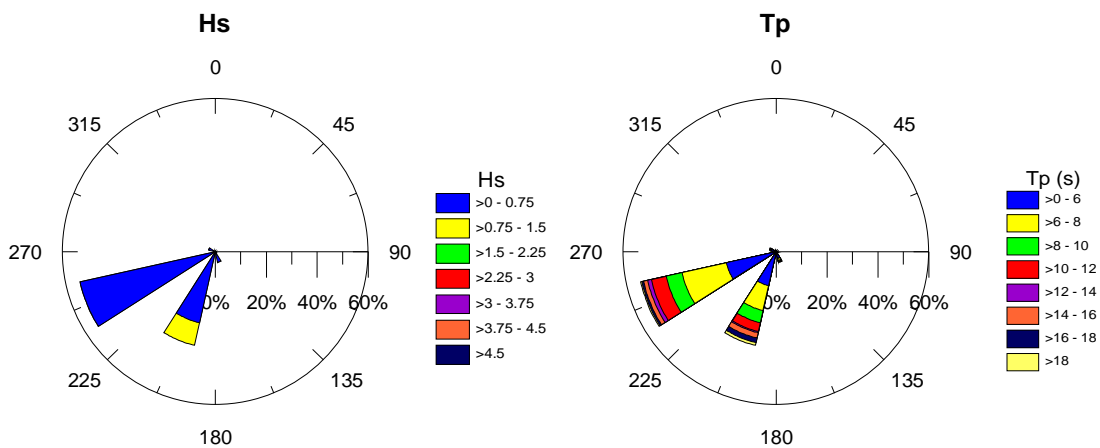
Silva, F. (2009). *Calibração e Validação do Modelo Espectral de Previsão da Agitação Marítima SWAN em Zonas Costeiras*. Dissertação de mestrado para obtenção do grau de mestre em Oceanografia da Universidade do Algarve, Faro.

Tucker, M. J. (1991). *Waves in Ocean Engineering Measurement, analysis, interpretation*. Melksham: Ellis Horwood.

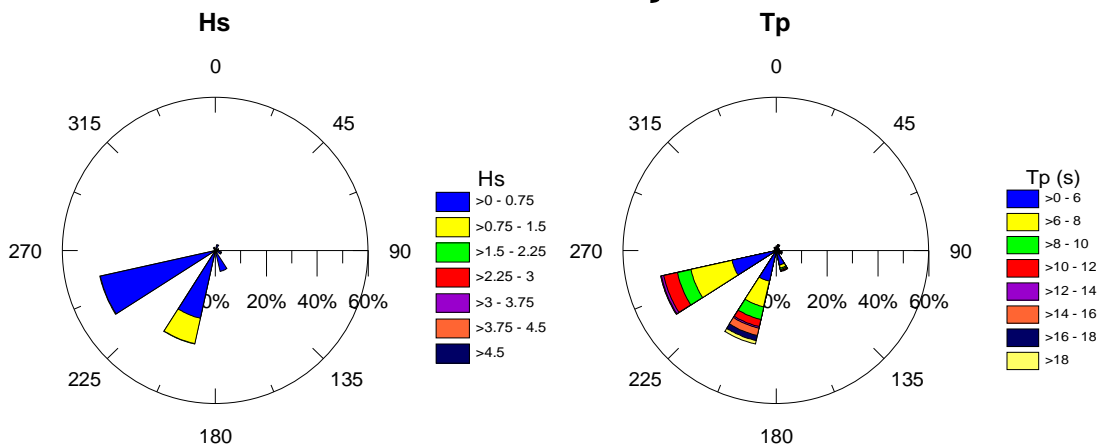
## **ANEXOS**

**ANEXO I – HISTOGRAMAS POLARES PARA OS PONTOS Off-  
SHORE (DADOS DO MODELO SWAN)**

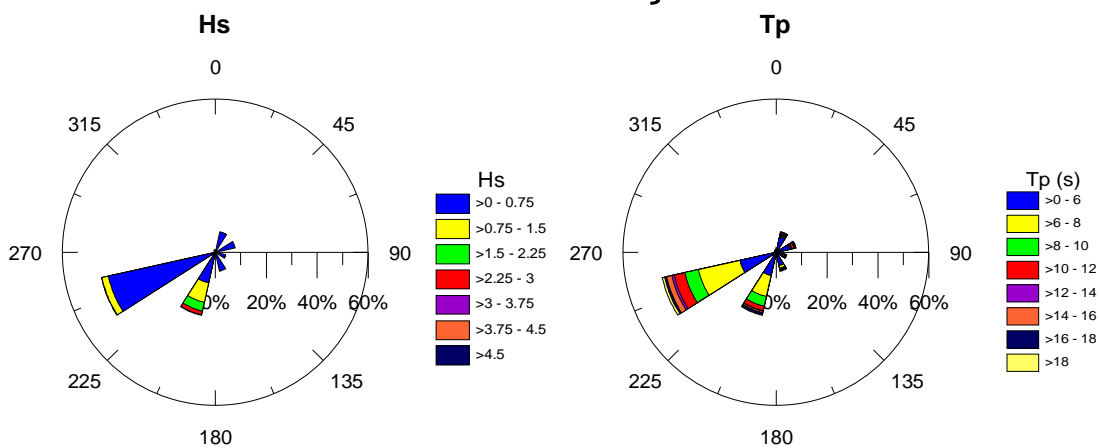
## P1 - Banco do Cambalhão



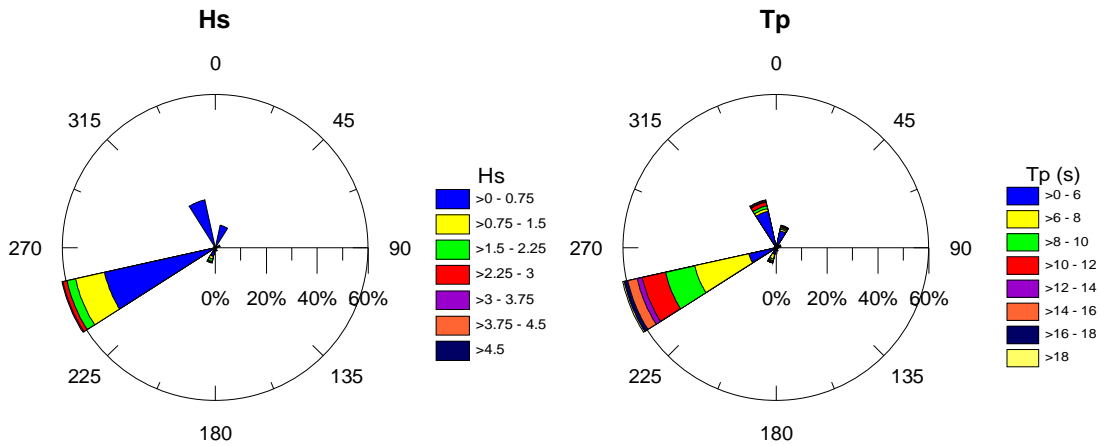
## P3 - Boia de Sinalização nº 3



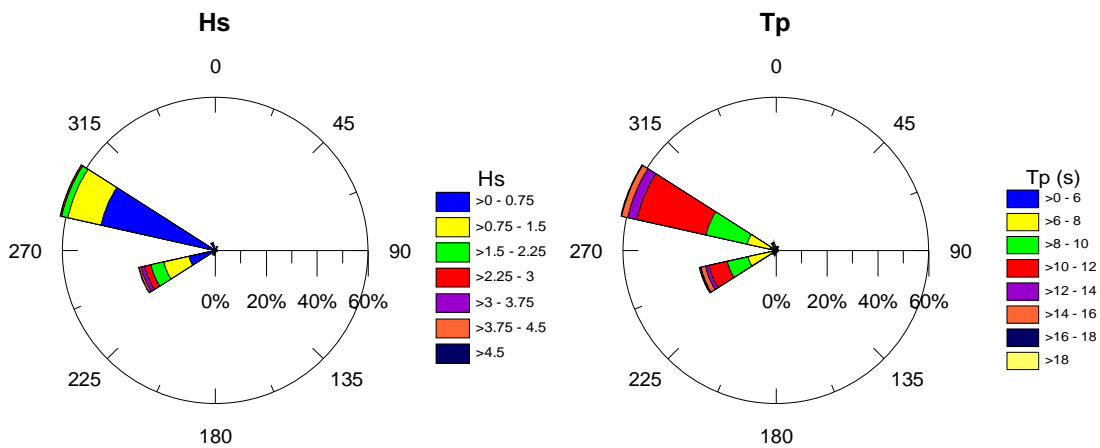
## P2 - Boia de Sinalização nº 1



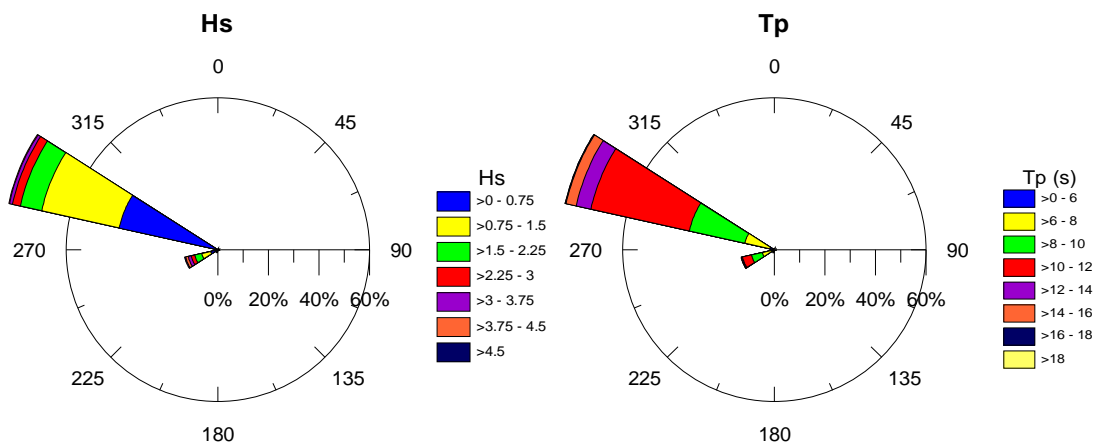
### P5 - Sul do Banco do Cambalhão



### P4 - Norte do Canhão de Setubal

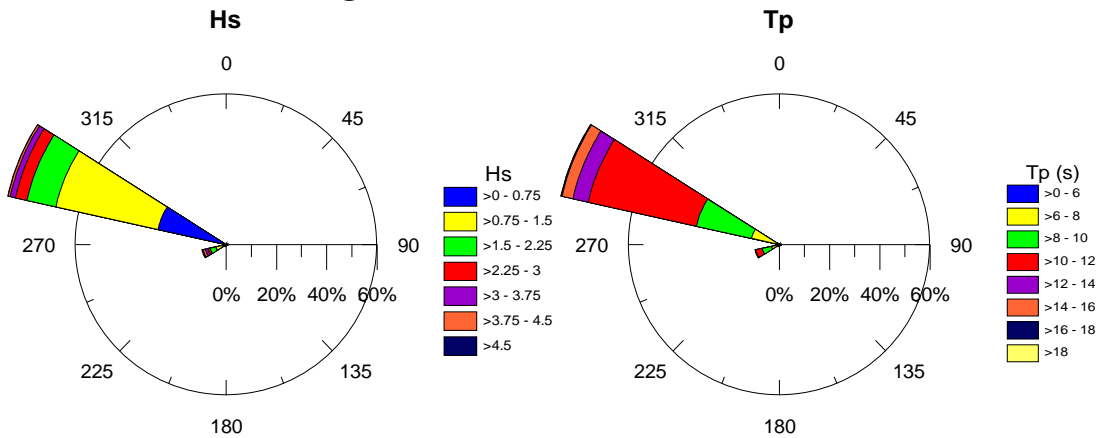


### P6 - Sul do canhão de Setubal

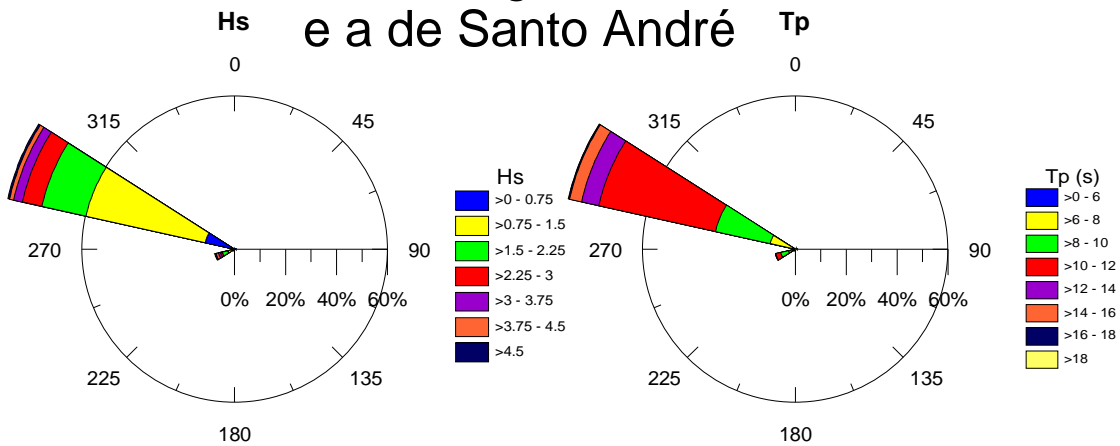




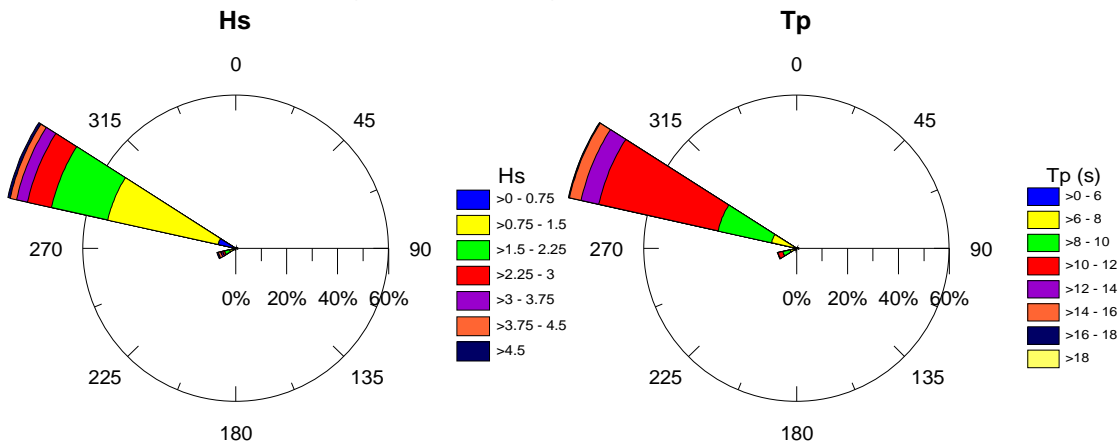
### P7 - Largo da Praia do Pinheiro



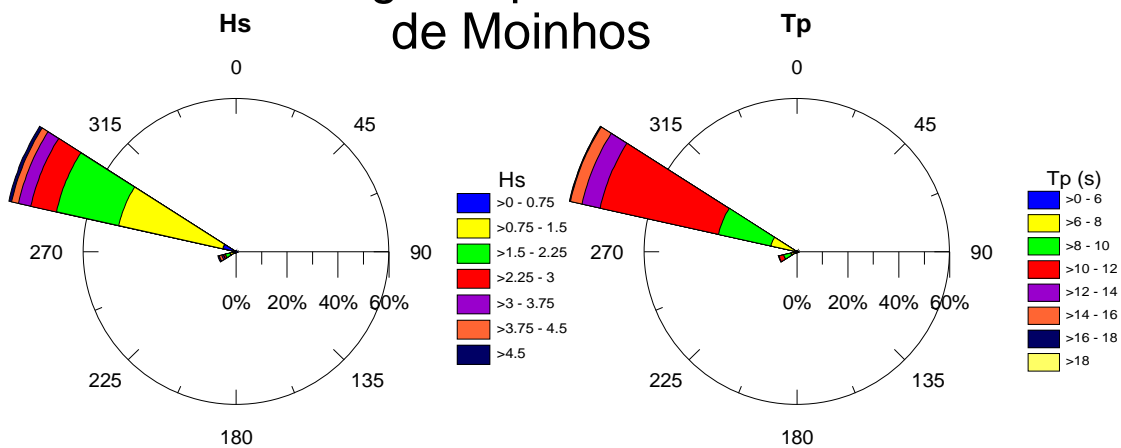
### P8 - Entre a lagoa de Melides e a de Santo André



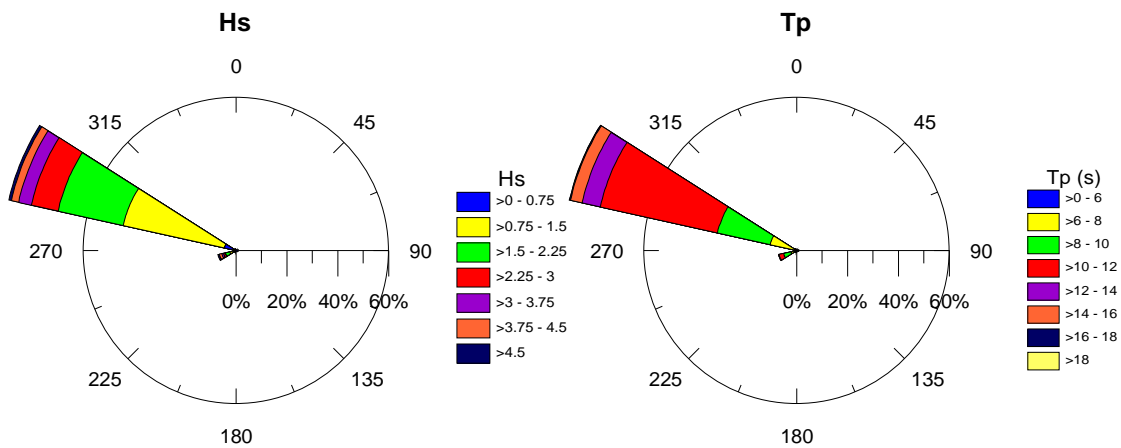
### P9 - Largo da Lagoa da Sancha



## P10 - Largo da praia de Ribeiro de Moinhos

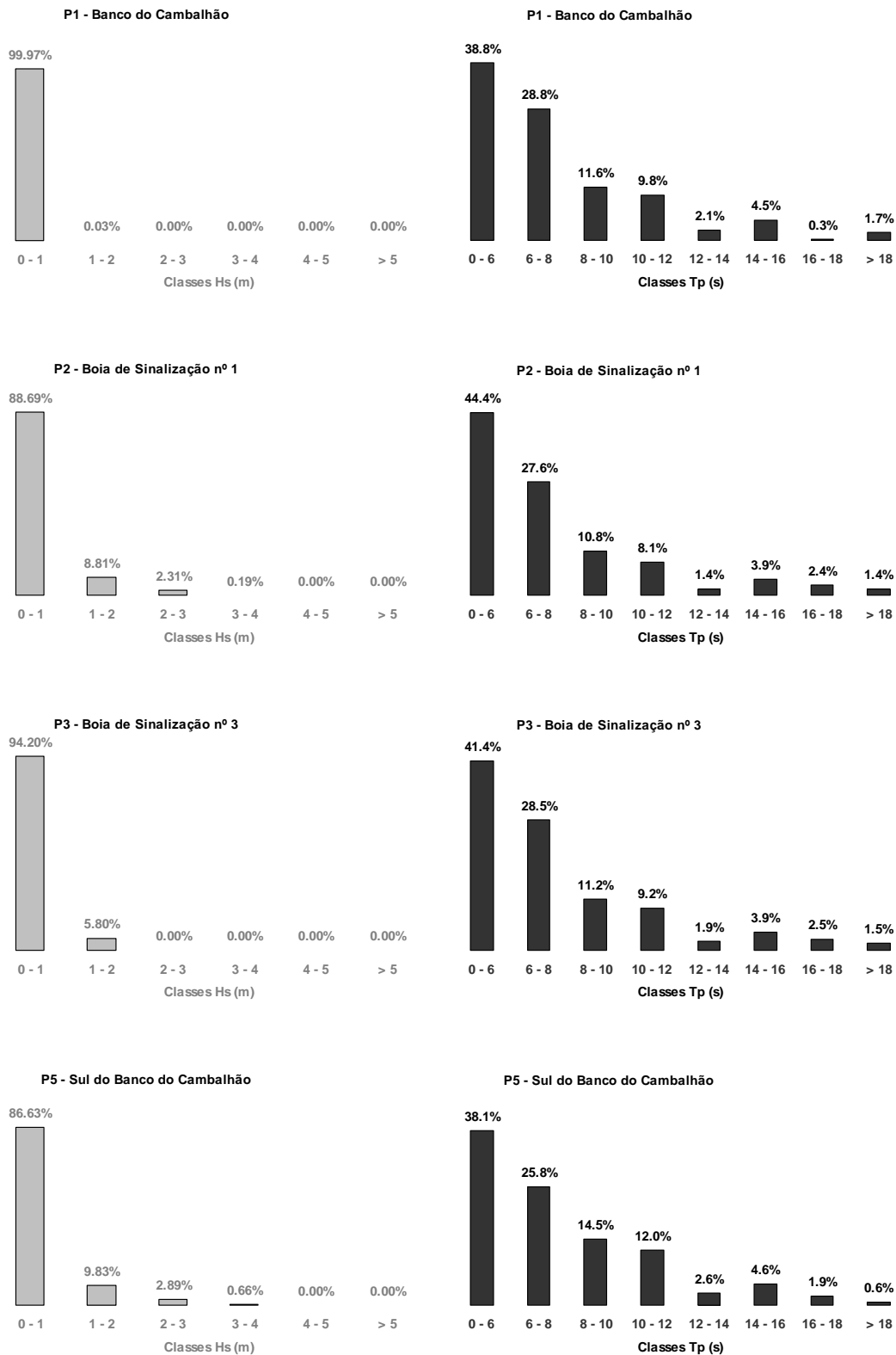


## P11 - Boía de Sines

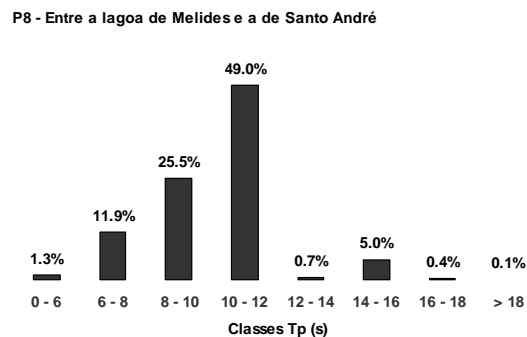
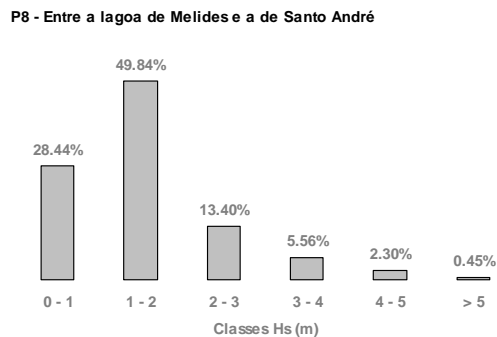
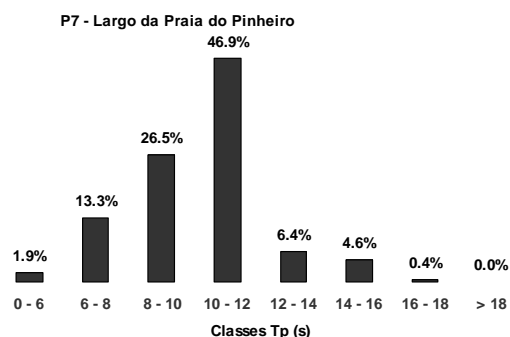
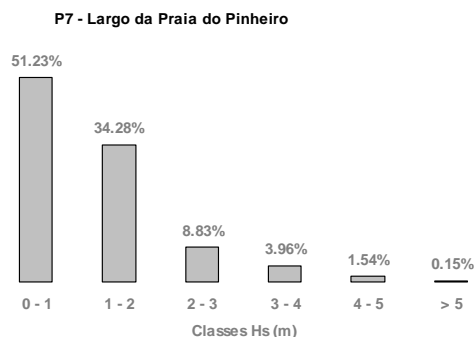
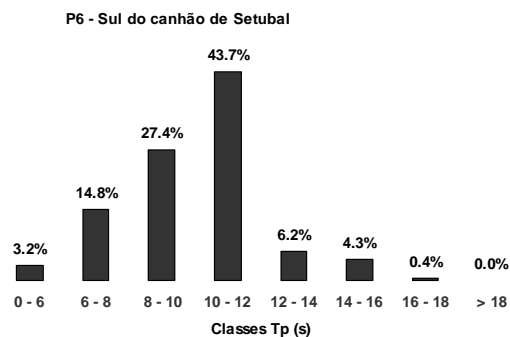
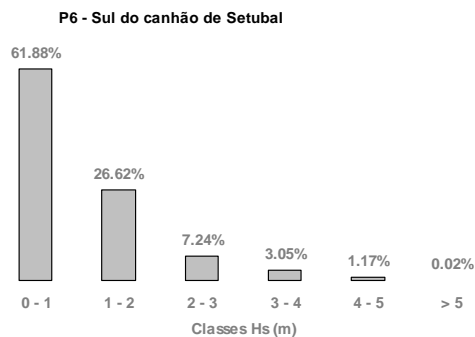
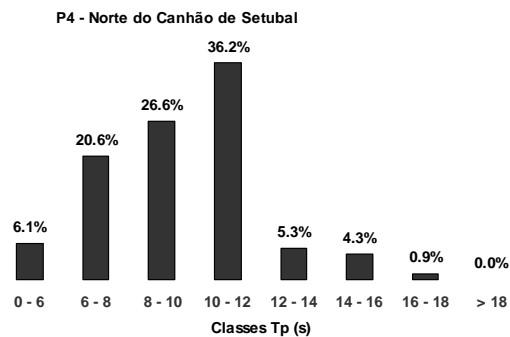
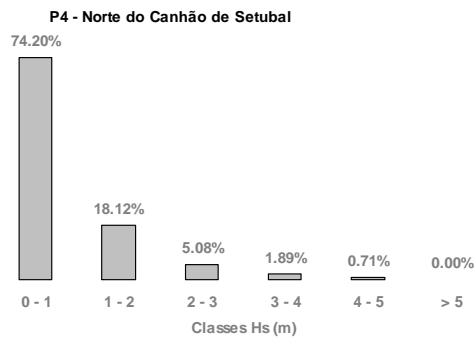


**ANEXO II – HISTOGRAMAS DE BARRAS PARA OS PONTOS Off-  
SHORE (DADOS DO MODELO SWAN)**

CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA  
NO ARCO LITORAL TRÓIA-SINES E SUA RELAÇÃO COM O PADRÃO MORFODINÂMICO DA PRAIA EMERSA

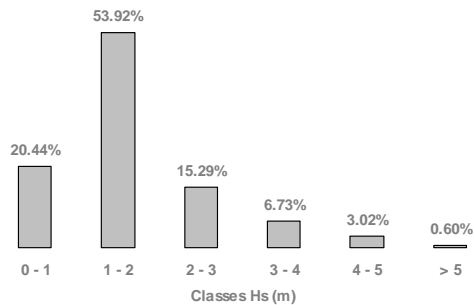


CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA  
NO ARCO LITORAL TRÓIA-SINES E SUA RELAÇÃO COM O PADRÃO MORFODINÂMICO DA PRAIA EMERSA

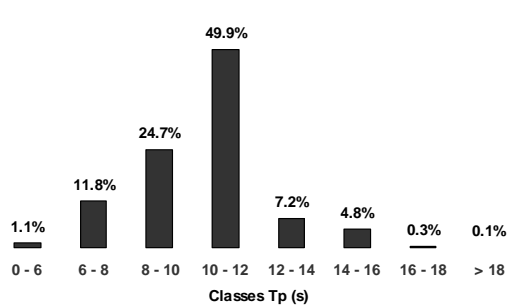


CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA  
NO ARCO LITORAL TRÓIA-SINES E SUA RELAÇÃO COM O PADRÃO MORFODINÂMICO DA PRAIA EMERSA

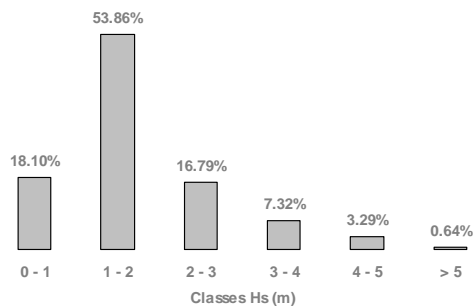
**P9 - Largo da Lagoa da Sancha**



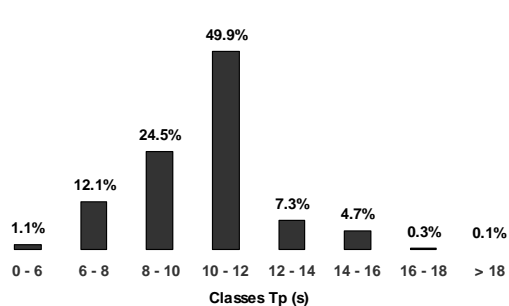
**P9 - Largo da Lagoa da Sancha**



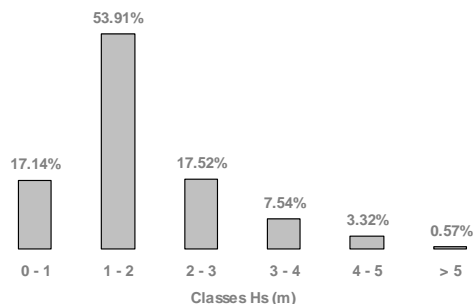
**P10 - Largo da praia de Ribeiro de Moinhos**



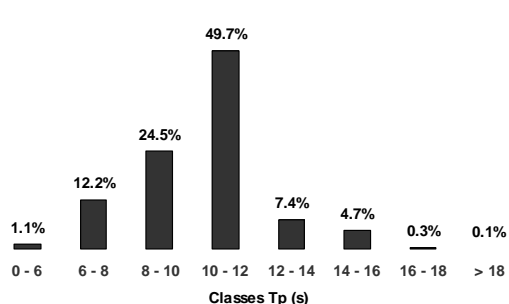
**P10 - Largo da praia de Ribeiro de Moinhos**



**P11 - Boia Ondógrafo de Sines**



**P11 - Boia Ondógrafo de Sines**



**ANEXO III – SÉRIES TEMPORAIS COM A EVOLUÇÃO  
TRANSVERSAL DOS PARAMETROS DE AGITAÇÃO  $H_s$  E  $D_p$  AO  
LONGO DO ALTS**

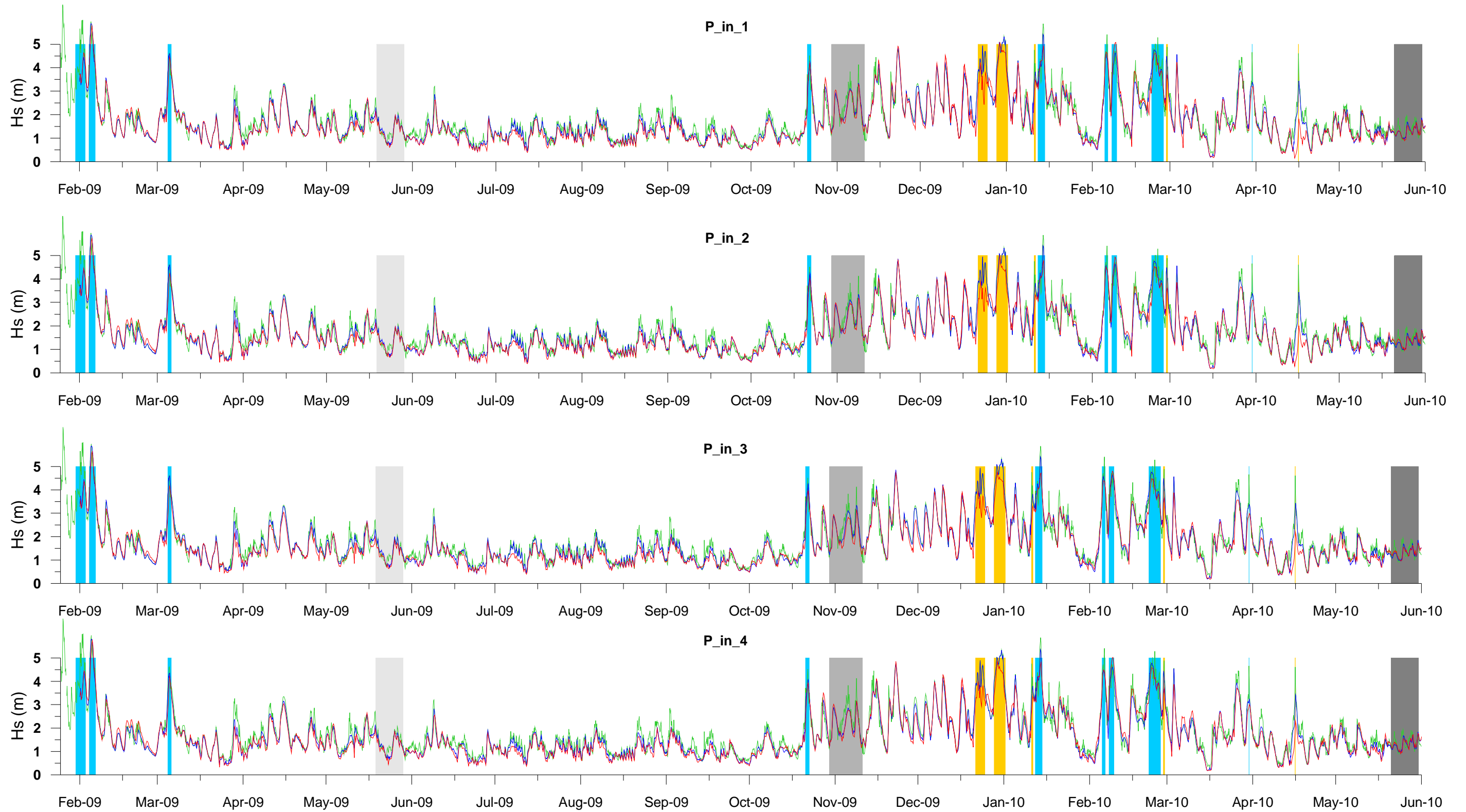
### Séries de Dp

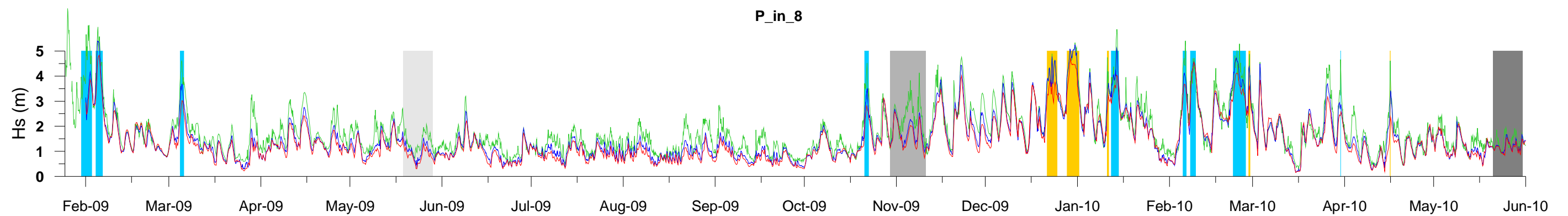
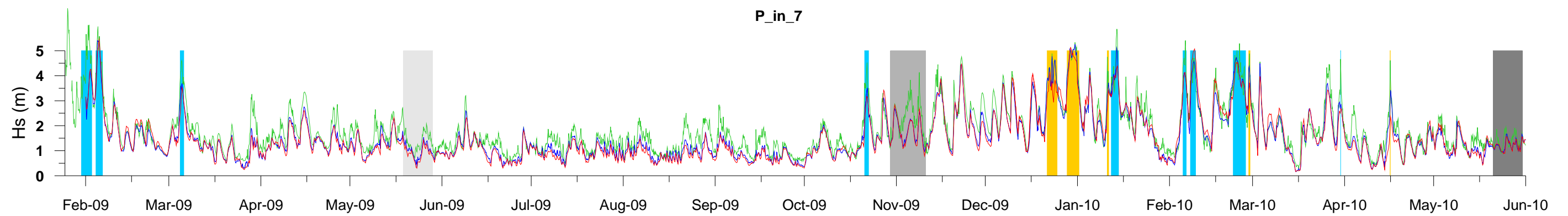
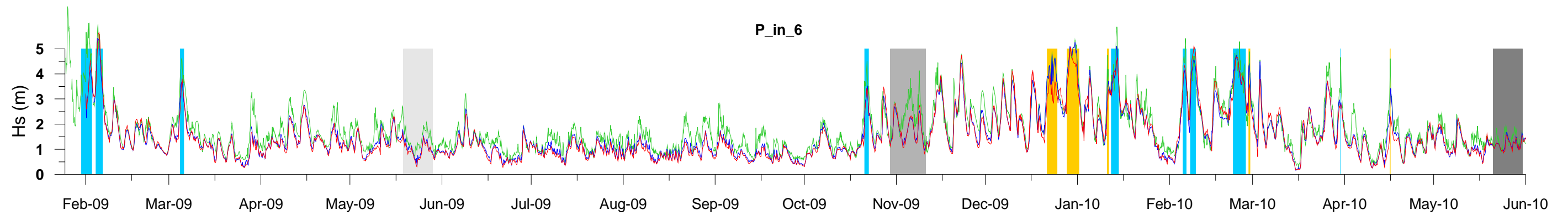
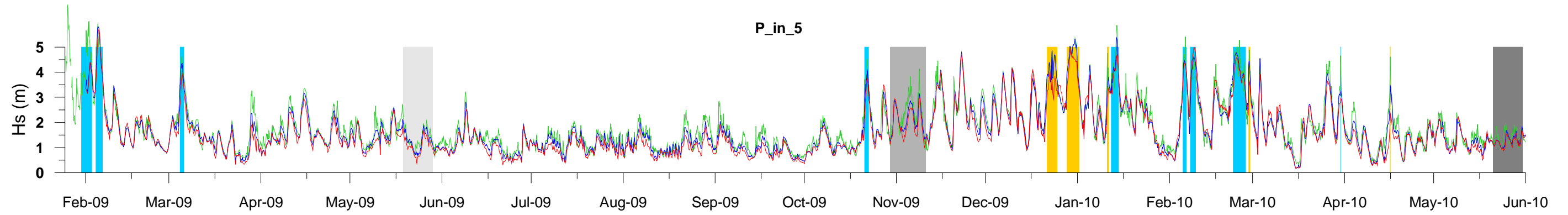
- Temporais do Quadrante W - N
- Temporais do Quadrante W - S
- Campanha Maio 2009
- Campanha Novembro 2009
- Campanha Maio 2010
- Hs Boía de Sines
- Hs Off\_shore
- Hs Pontos na Rebentação

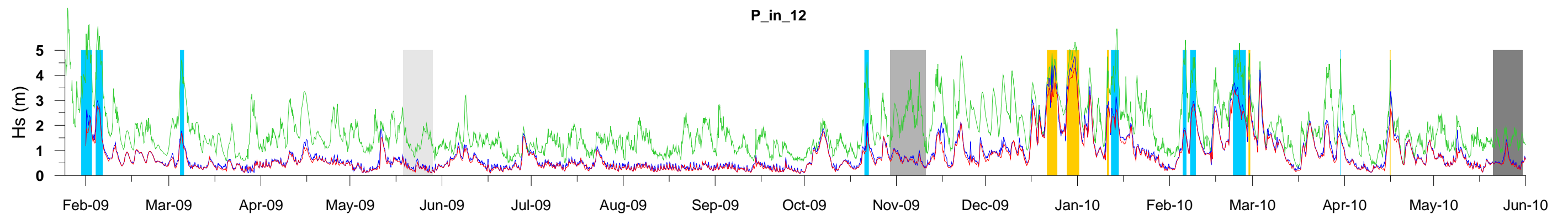
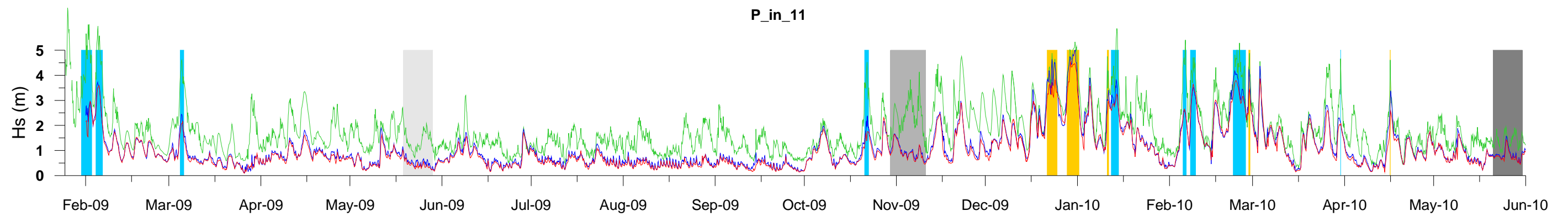
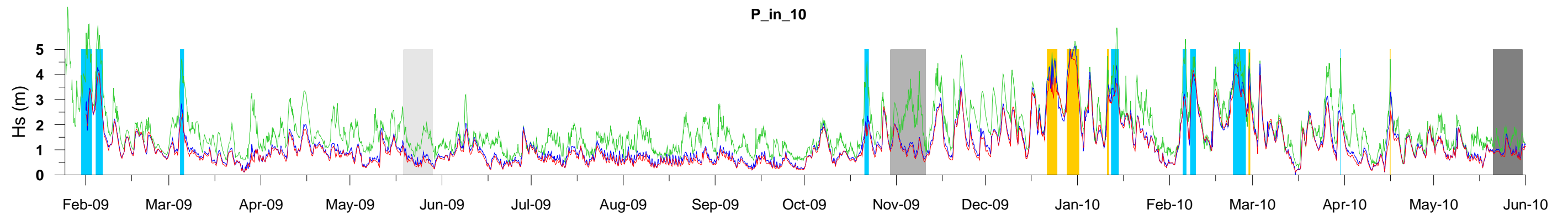
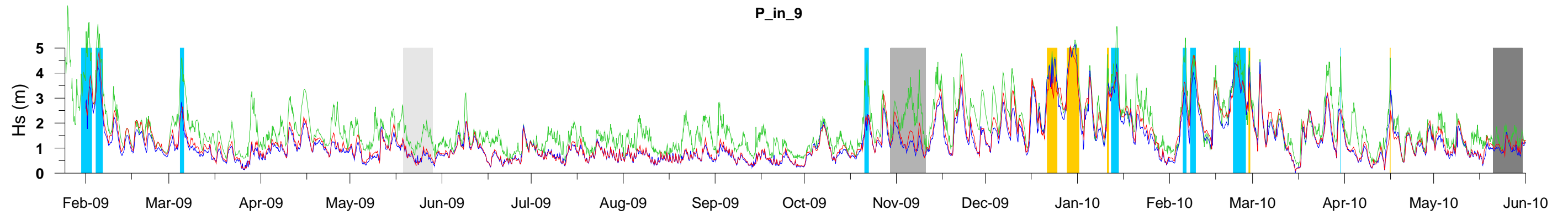
### Séries de Dp

- Temporais do Quadrante W - N
- Temporais do Quadrante W - S
- Campanha Maio 2009
- Campanha Novembro 2009
- Campanha Maio 2010
- + Dp Boía de Sines
- + Dp Off\_shore
- + Dp Pontos na Rebentação

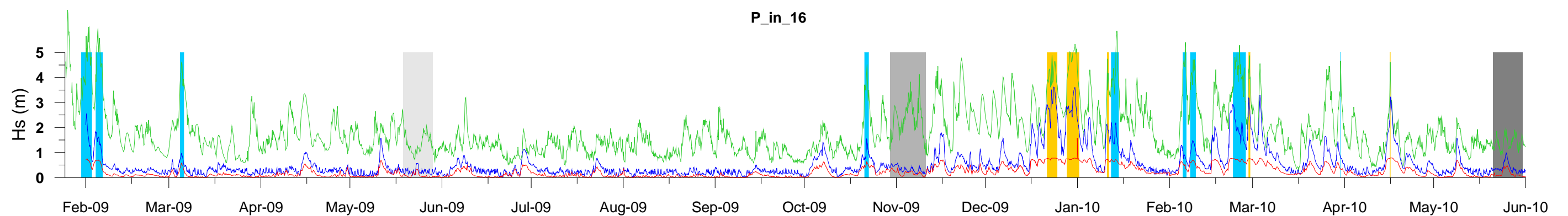
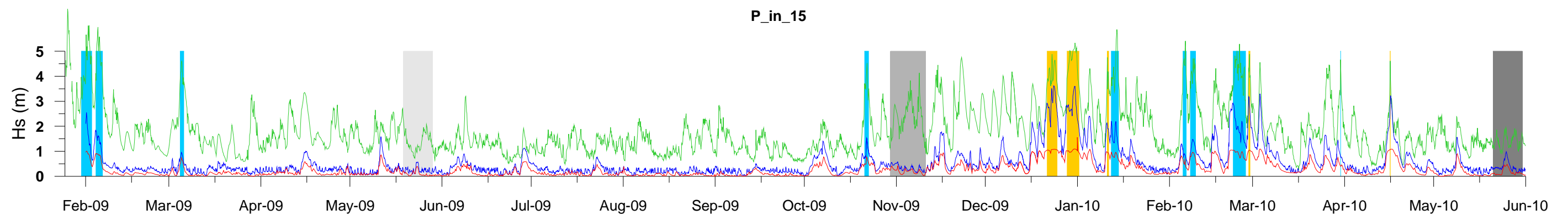
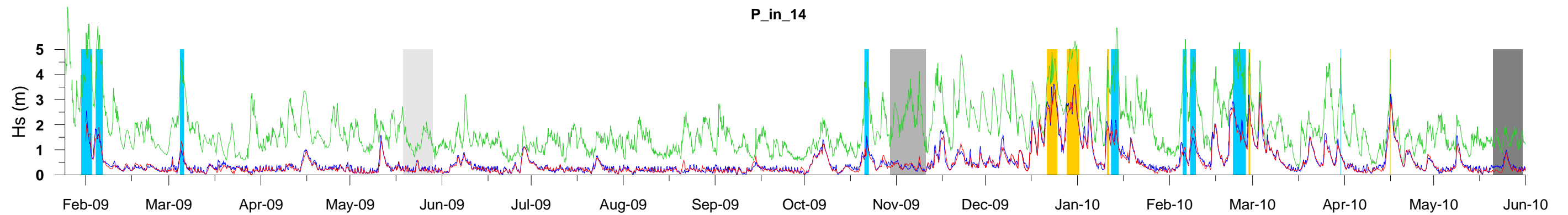
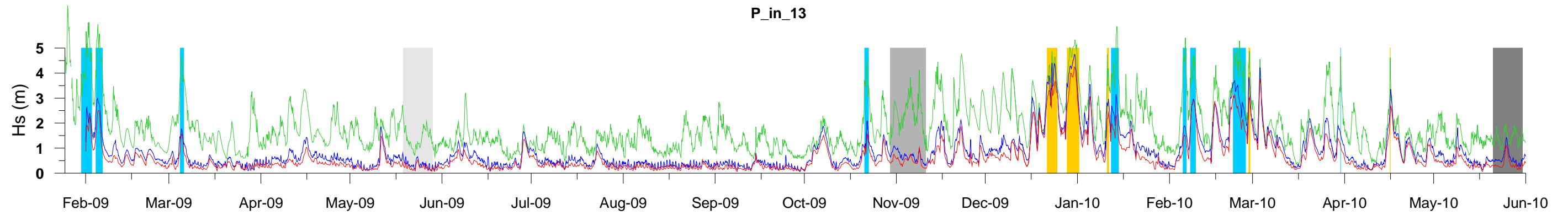


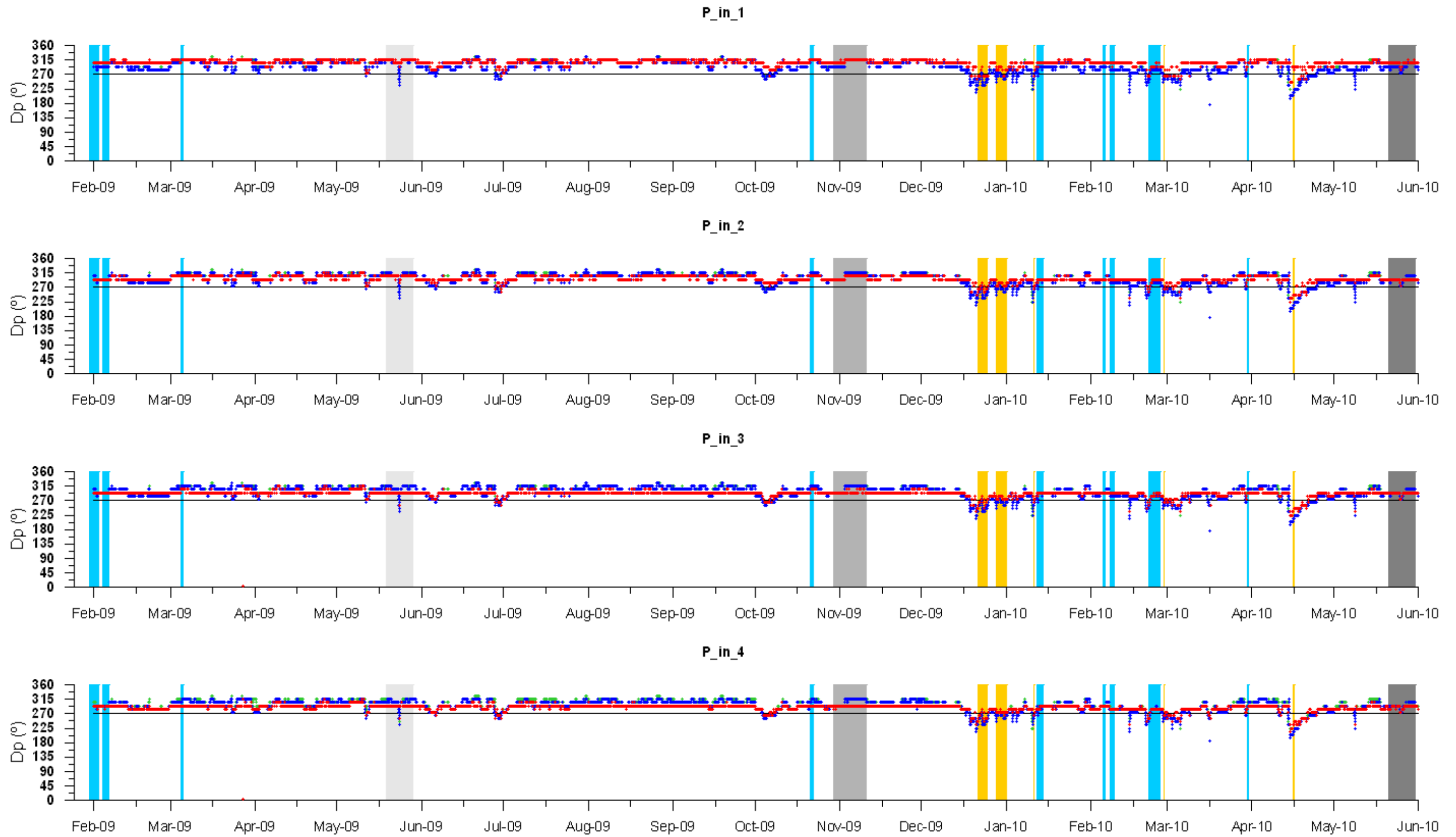


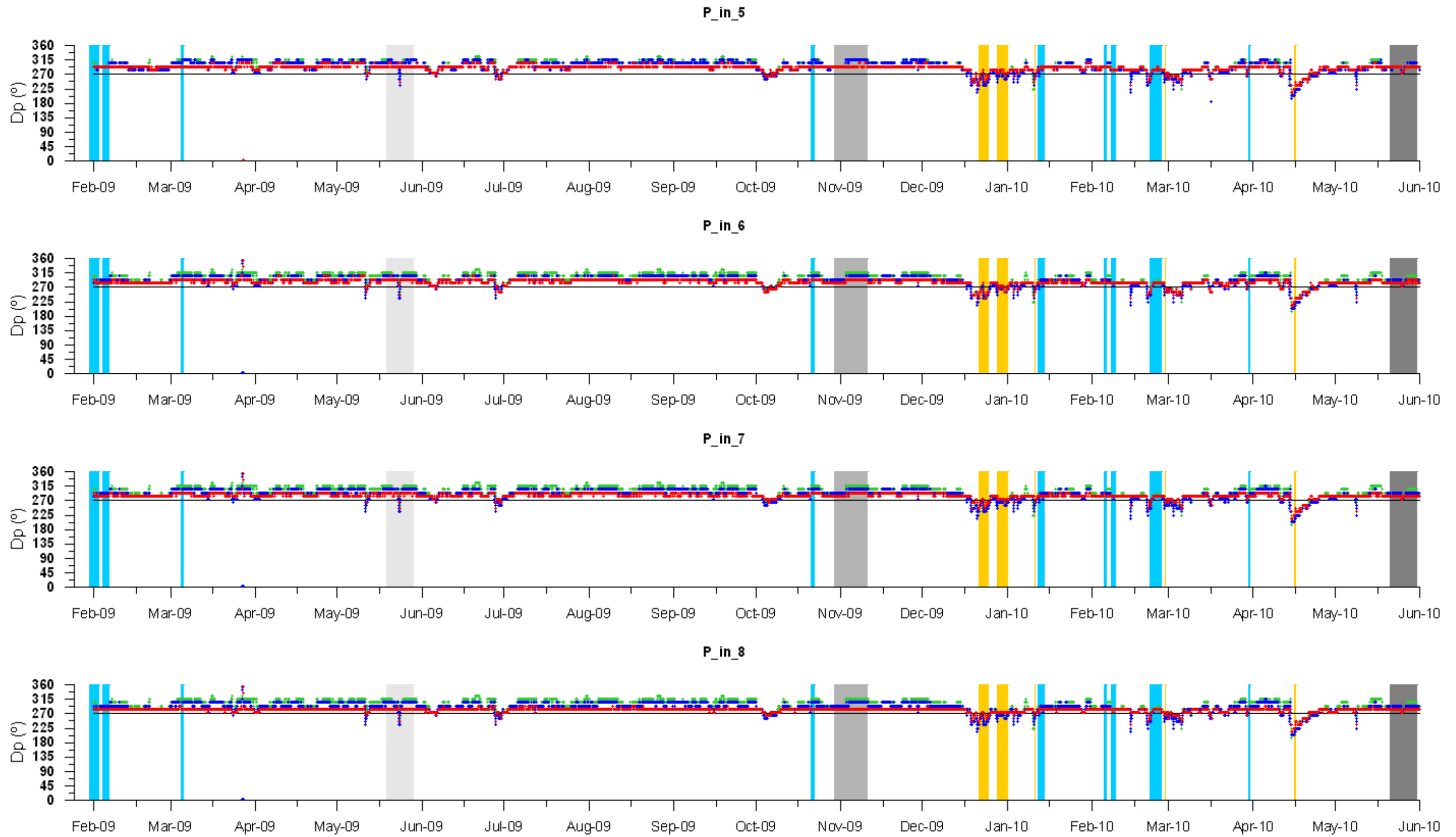


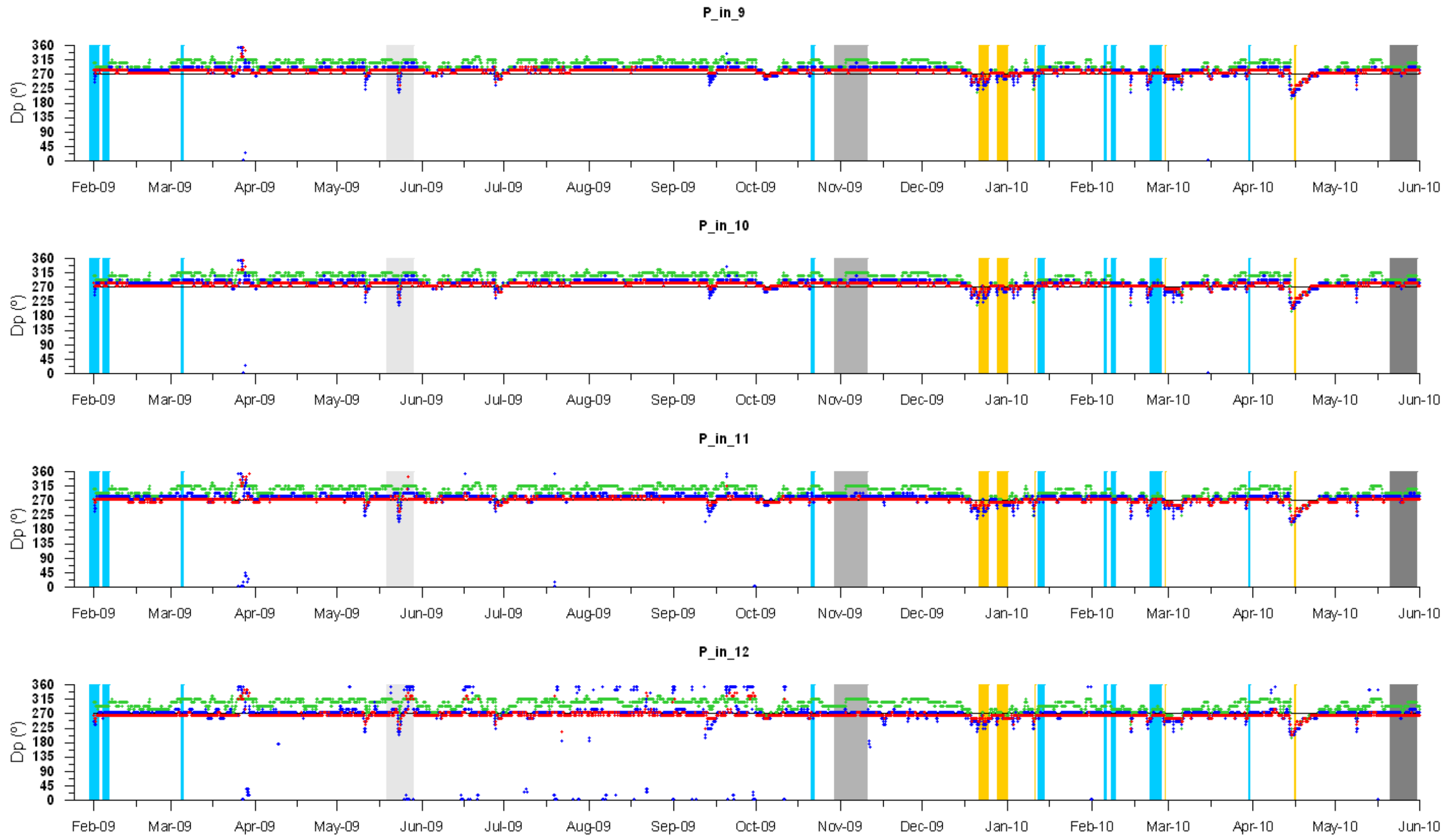


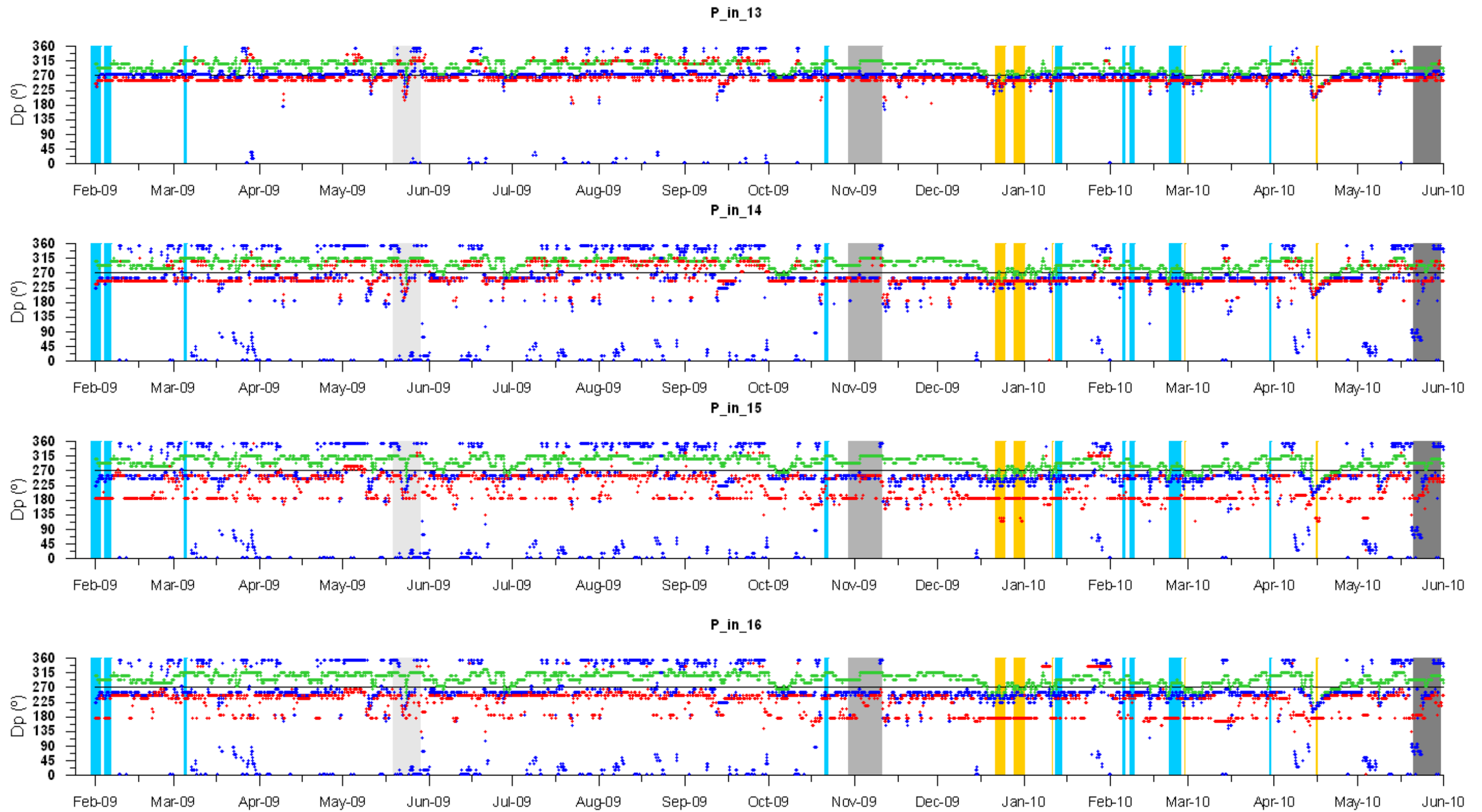








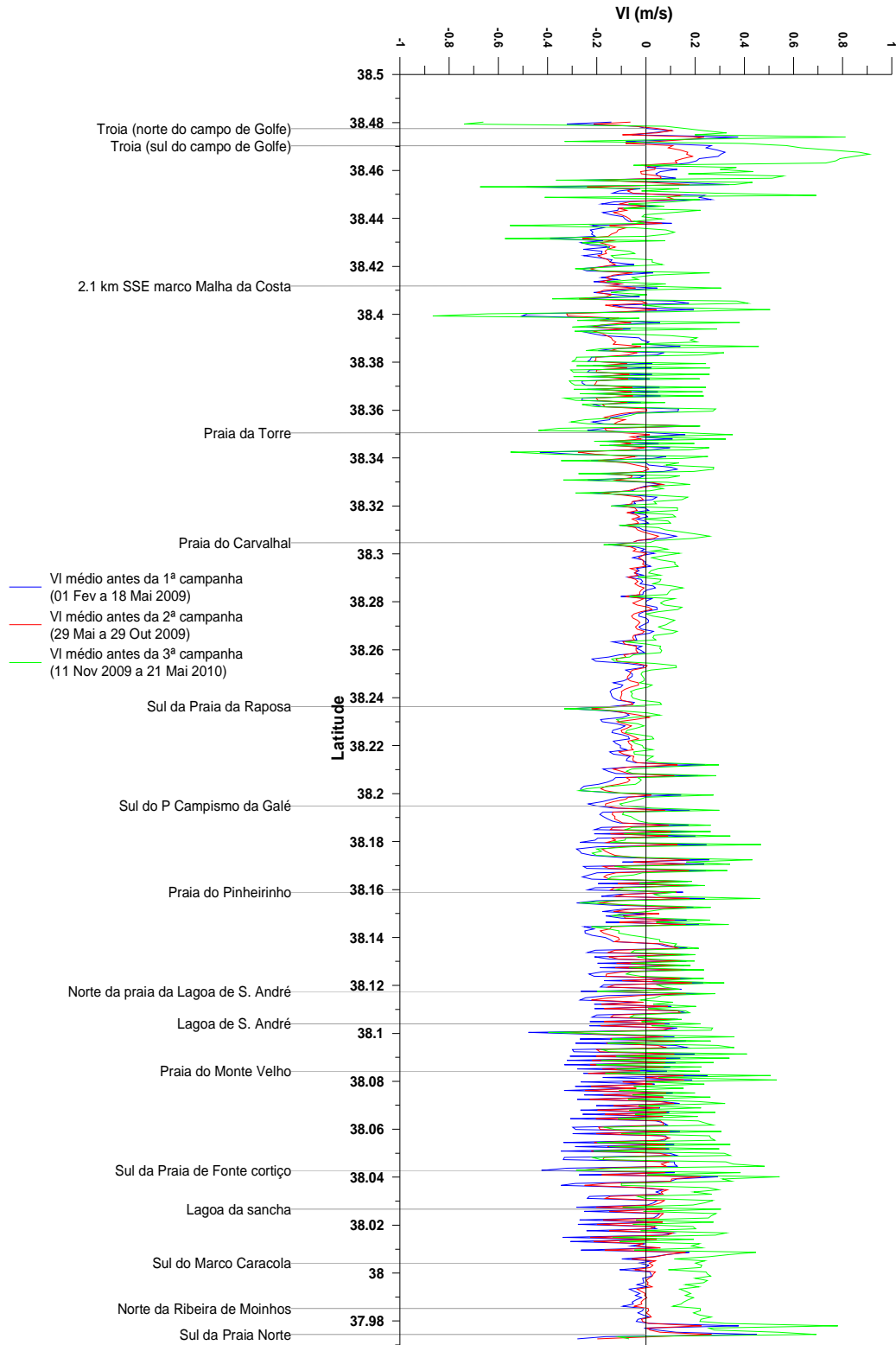




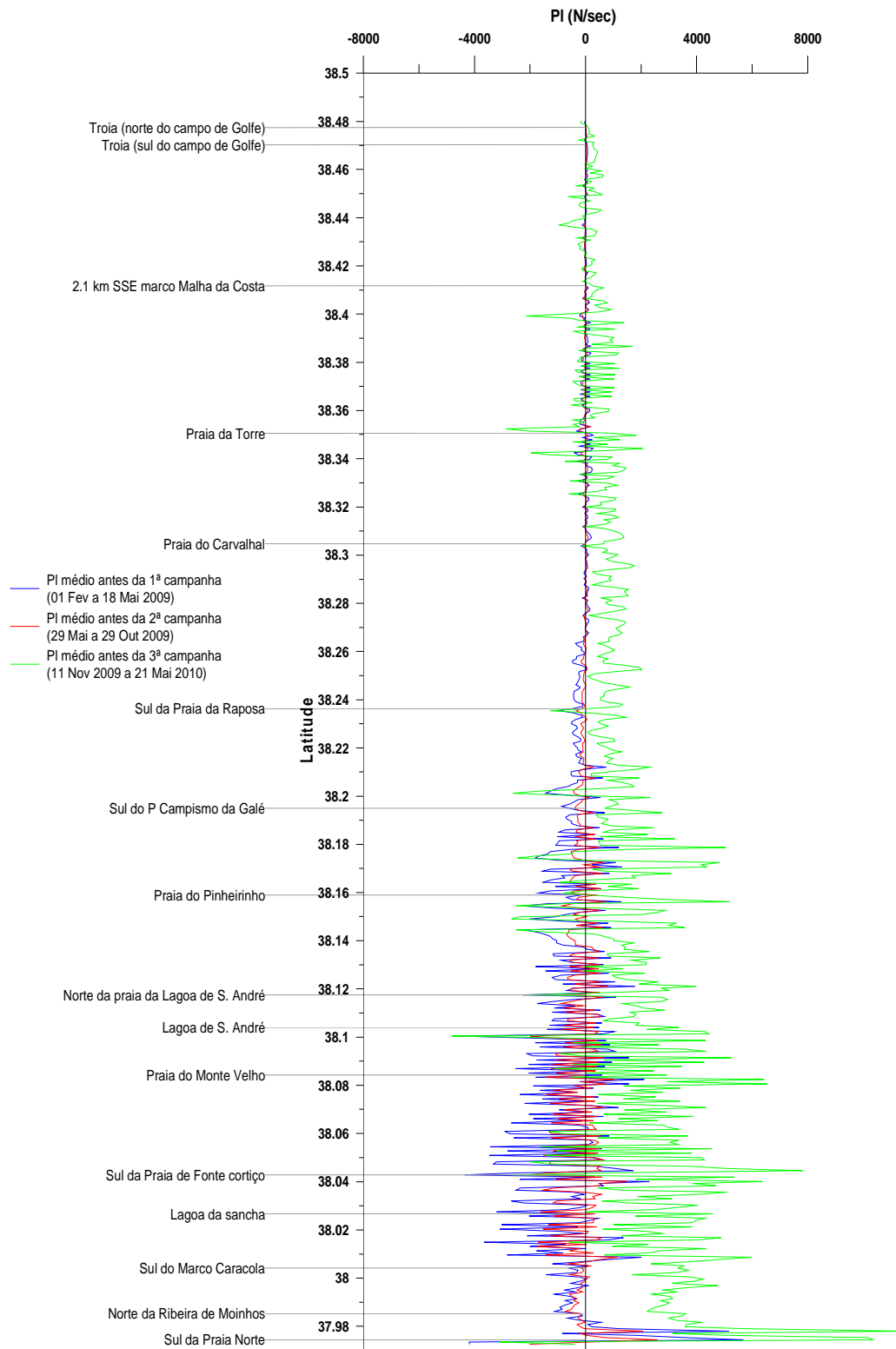


**ANEXO IV – FLUXO LONGITUDINAL DE ENERGIA DAS  
ONDAS E VELOCIDADE LONGITUDINAL**

### VI - Velocidade longitudinal para os períodos antes das campanhas do Projecto INSHORE



**PI - Fluxo longitudinal de energia das ondas para  
os períodos antes das campanhas do Projecto INSHORE**

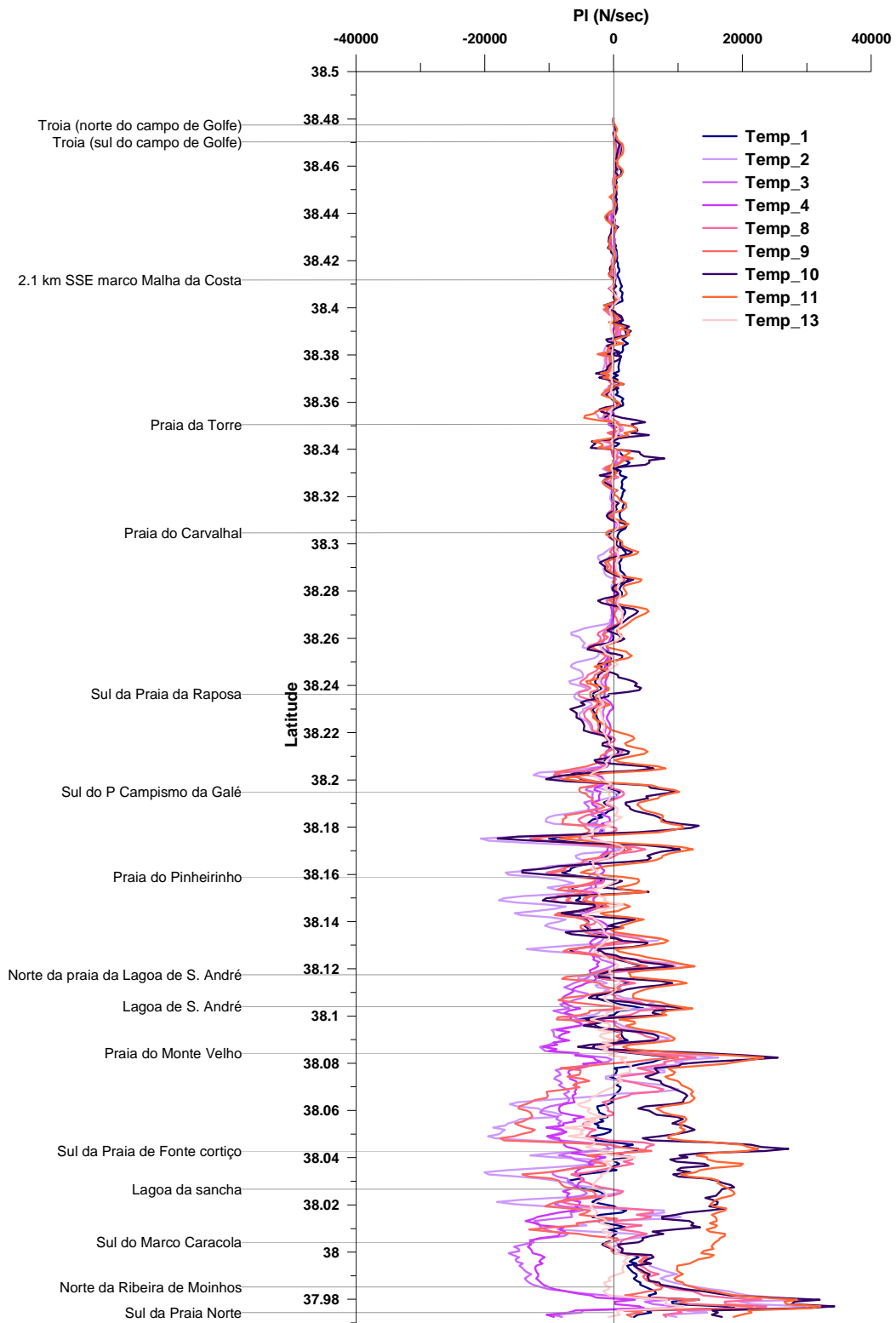


<b>Temporais provenientes do quadrante W - N</b>				
	<i>DATA INICIAL</i>	<i>DURAÇÃO (dias)</i>	<i>Hsmax (m)</i>	<i>DIRmed (°)</i>
<b>Temp_1</b>	30-Jan-09	3.625	6.43	282
<b>Temp_2</b>	04-Fev-09	2.375	6.42	303
<b>Temp_3</b>	04-Mar-09	1.375	4.52	314
<b>Temp_4</b>	21-Out-09	1.5	4.52	319
<b>Temp_8</b>	12-Jan-10	2.625	6.52	297
<b>Temp_9</b>	05-Fev-10	1.2569	5.78	311
<b>Temp_10</b>	08-Fev-10	1.875	4.71	289
<b>Temp_11</b>	22-Fev-10	3.875	5.49	300
<b>Temp_13</b>	30-Mar-10	0.1903	4.66	317

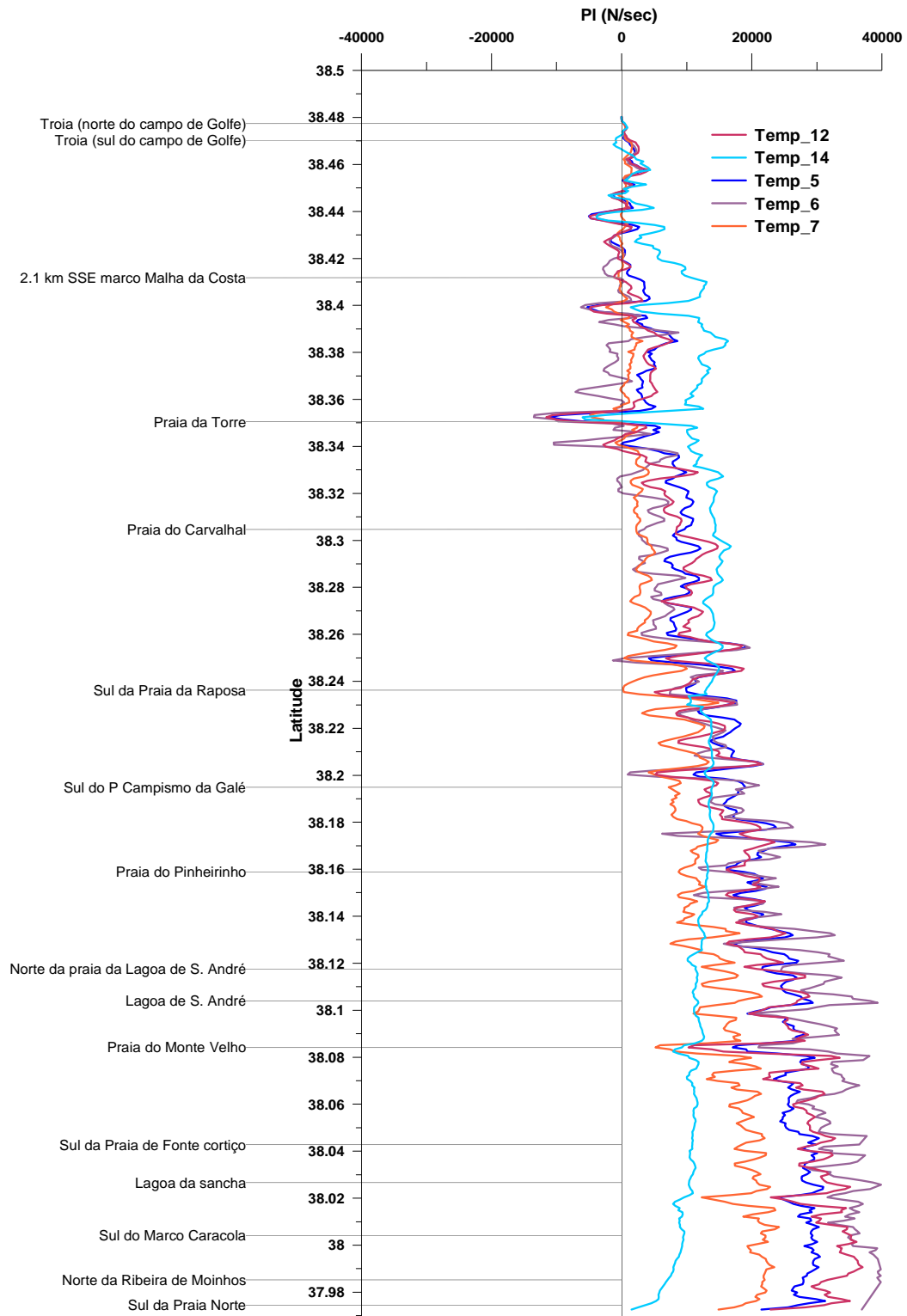
<b>Temporais provenientes do quadrante W - S</b>				
	<i>DATA INICIAL</i>	<i>DURAÇÃO (dias)</i>	<i>Hsmax (m)</i>	<i>DIRmed (°)</i>
<b>Temp_5</b>	21-Dez-09	3.75	4.8867	251
<b>Temp_6</b>	28-Dez-09	4.29	5.3287	267
<b>Temp_7</b>	11-Jan-10	0.625	4.89	259
<b>Temp_12</b>	27-Fev-10	0.6069	5.38	258
<b>Temp_14</b>	16-Abr-10	0.25	4.62	228

Os gráficos seguintes apresentam os valores de Pl e Vl depois de efectuado um alisamento em latitude. Para tal foi utilizado um filtro de médias móveis.

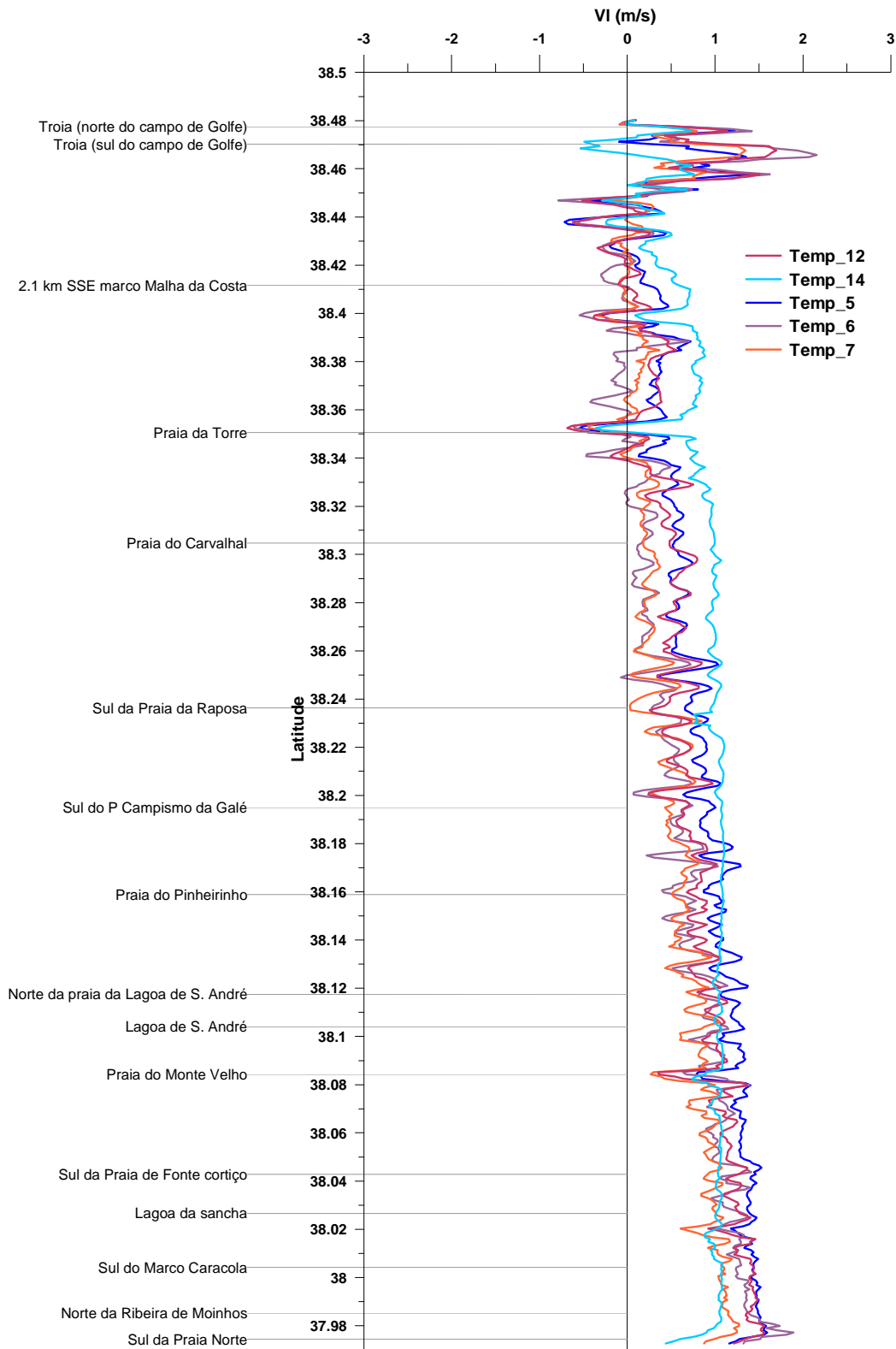
### PI - Fluxo longitudinal de energia das ondas médio para os temporais provenientes do quadrante W - N



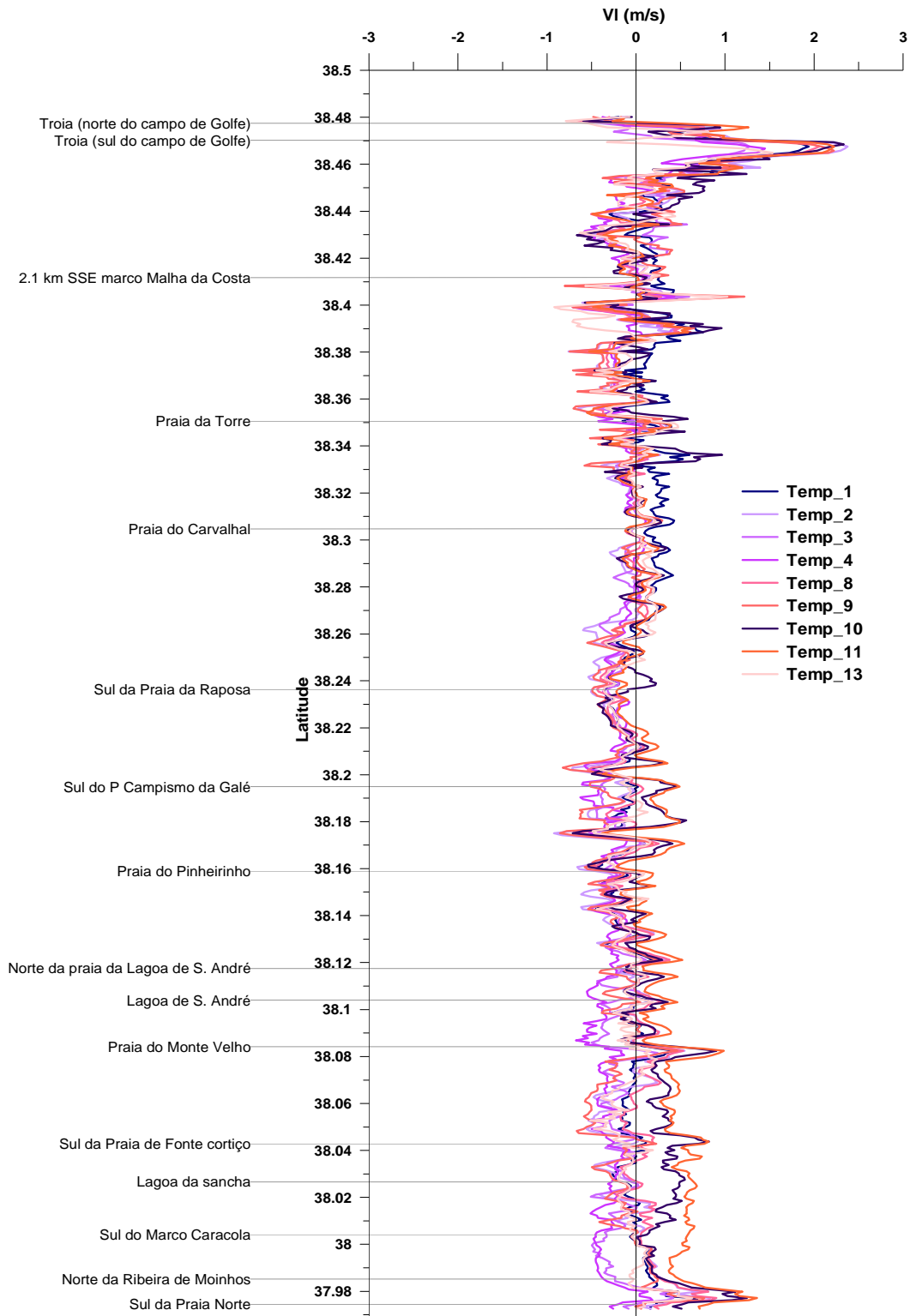
**PI - Fluxo longitudinal de energia das ondas médio  
para os temporais provenientes do quadrante W - S**



### VI - Velocidade longitudinal média para os temporais provenientes do quadrante W - S



### VI - Velocidade longitudinal média para os temporais provenientes do quadrante W - N





**ANEXO V – FICHEIROS IN-PUT PARA AS SIMULAÇÕES DO  
MODELO SWAN.**

### Exemplo de Ficheiro para a grelha SWAN\_1:

```
$*****HEADING*****
PROJ 'NUNO' '1'
$
$*****SETTINGS*****
$
SET 2 90 0.05 200 1 9.81 1025 0 NAUT
MODE NONSTAT TWOD
COORD SPHE QC
$
$
$*****MODEL INPUT*****
$
$*****GRELHA COMPUTACIONAL*****
CGRID REG -8.975 37.85 0.0 0.22 0.65 100 200 CIRCLE 36 0.05 0.6 29
$
$*****BATIMETRIA*****
INPGRID BOTTOM REG -8.9896 37.8319 0. 384 1212 0.0005555 0.0005555 EXC -
9.0000
READINP BOTTOM 1. 'sines_bat.bot' 4 0 FREE
$
$***** VENTO ALADIN *****
INPGRID WIND REG -15.04 35.0 0. 188 125 0.08 0.08 NONSTAT &
20100101.0000 03.00 HR 20100131.2100
READINP WIND 1. 'wind_aladin_2010_01' 1 0 1 0 FREE
$
$***** MARE *****
INPGRID WLEVEL REG -9 37.0 0. 1 1 1 1 NONSTAT &
20100101.0000 01.00 HR 20101231.2300
READINP WLEVEL 1. 'mare_sines_2010.txt' 1
$
$*****BOUNDARY CONDITIONS *****
$*****WEST*****
BOU SIDE W CCW VAR FILE 0.080000 'swan_bound_2010_01_1.dat' 1 &
0.105000 'swan_bound_2010_01_2.dat' 1 &
0.130000 'swan_bound_2010_01_3.dat' 1 &
0.155000 'swan_bound_2010_01_4.dat' 1 &
0.180000 'swan_bound_2010_01_5.dat' 1 &
0.205000 'swan_bound_2010_01_6.dat' 1 &
0.230000 'swan_bound_2010_01_7.dat' 1 &
0.255000 'swan_bound_2010_01_8.dat' 1 &
0.280000 'swan_bound_2010_01_9.dat' 1 &
0.305000 'swan_bound_2010_01_10.dat' 1 &
0.330000 'swan_bound_2010_01_11.dat' 1 &
```

CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA  
NO ARCO LITORAL TRÓIA-SINES E SUA RELAÇÃO COM O PADRÃO MORFODINÂMICO DA PRAIA EMERSA

---

```
0.355000 'swan_bound_2010_01_12.dat' 1 &
0.380000 'swan_bound_2010_01_13.dat' 1 &
0.405000 'swan_bound_2010_01_14.dat' 1 &
0.430000 'swan_bound_2010_01_15.dat' 1 &
0.455000 'swan_bound_2010_01_16.dat' 1 &
0.480000 'swan_bound_2010_01_17.dat' 1 &
0.505000 'swan_bound_2010_01_18.dat' 1 &
0.530000 'swan_bound_2010_01_19.dat' 1 &
0.555000 'swan_bound_2010_01_20.dat' 1 &
0.580000 'swan_bound_2010_01_21.dat' 1 &
0.605000 'swan_bound_2010_01_22.dat' 1 &
0.630000 'swan_bound_2010_01_23.dat' 1 &
$*****SOUTH*****
BOU SIDE S CCW VAR FILE 0.000000 'swan_bound_2010_01_24.dat' 1 &
0.025000 'swan_bound_2010_01_25.dat' 1 &
0.050000 'swan_bound_2010_01_26.dat' 1 &
0.075000 'swan_bound_2010_01_27.dat' 1 &
0.100000 'swan_bound_2010_01_28.dat' 1 &
0.125000 'swan_bound_2010_01_29.dat' 1 &
0.150000 'swan_bound_2010_01_30.dat' 1 &
0.175000 'swan_bound_2010_01_31.dat' 1 &
$*****CONSTANT*****
$***** PHYSICS*****
$
GEN3 WESTH AGROW
FRIC JON
PROP BSBT
NUM ACCUR 0.02 0.02 0.02 98 STAT 15 DIR CDD 0.5 CDLIM 4
$
$***** OUTPUT REQUESTS *****
QUANT HS excv=-99
QUANT HSWELL excv=-99
QUANT RTP excv=-99
QUANT TM01 excv=-99
QUANT PDIR excv=-99
QUANT DIR excv=-99
QUANT DEP excv=-99
OUTP OPTI TAB field=16
OUTP OPTI BLO ndec=5
$***** POINT DATA *****
$
POIN 'Pn7' -8.889 38.213
TAB 'Pn7' 'P7_2010_01.dat' TIME XP YP DEP WATLEV HS HSWELL TM01 TM02 RTP DIR
PDIR DSPR WIND &
OUT 20100101.0000 1.00 HR
$
```

CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA  
NO ARCO LITORAL TRÓIA-SINES E SUA RELAÇÃO COM O PADRÃO MORFODINÂMICO DA PRAIA EMERSA

---

```
SPECOUT 'Pn7' SPEC2D REL 'SP7_2010_01.dat' OUT 20100101.0000 3.00 HR
$
POIN 'Pn8' -8.914 38.125
TAB 'Pn8' 'P8_2010_01.dat' TIME XP YP DEP WATLEV HS HSWELL TM01 TM02 RTP DIR
DIR PDIR DSPR WIND &
OUT 20100101.0000 1.00 HR
$
SPECOUT 'Pn8' SPEC2D REL 'SP8_2010_01.dat' OUT 20100101.0000 3.00 HR
$
POIN 'Pn9' -8.935 38.042
TAB 'Pn9' 'P9_2010_01.dat' TIME XP YP DEP WATLEV HS HSWELL TM01 TM02 RTP DIR
DIR PDIR DSPR WIND &
OUT 20100101.0000 1.00 HR
$
SPECOUT 'Pn9' SPEC2D REL 'SP9_2010_01.dat' OUT 20100101.0000 3.00 HR
$
POIN 'Pn10' -8.947 37.990
TAB 'Pn10' 'P10_2010_01.dat' TIME XP YP DEP WATLEV HS HSWELL TM01 TM02 RTP
DIR PDIR DSPR WIND &
OUT 20100101.0000 1.00 HR
$
SPECOUT 'Pn10' SPEC2D REL 'SP10_2010_01.dat' OUT 20100101.0000 3.00 HR
$
POIN 'Pn11' -8.929 37.921
TAB 'Pn11' 'PSines_2010_01.dat' TIME XP YP DEP WATLEV HS HSWELL TM01 TM02
RTP DIR PDIR DSPR WIND &
OUT 20100101.0000 1.00 HR
$
SPECOUT 'Pn11' SPEC2D REL 'SPSines_2010_01.dat' OUT 20100101.0000 3.00 HR
$
TEST 0,0
$
COMPUTE STAT 20100101.0000
COMPUTE NONST 20100101.0000 30.00 MIN 20100201.0000
$
STOP
$
```

### Exemplo de Ficheiro para a grelha SWAN\_2:

```
$*****HEADING*****
PROJ 'NUNO' '2'
$
$*****SETTINGS*****
$
SET 2 90 0.05 200 1 9.81 1025 0 NAUT
MODE NONSTAT TWOD
COORD SPHE QC
$
$
$*****MODEL INPUT*****
$
$*****GRELHA COMPUTACIONAL*****
CGRID REG -8.91 37.96 0.0 0.14 0.54 200 600 CIRCLE 36 0.05 0.6 29
$
$*****BATIMETRIA*****
INPGRID BOTTOM REG -8.9896 37.8319 0. 384 1212 0.0005555 0.0005555 EXC -
9.0000
READINP BOTTOM 1. 'sines_bat.bot' 4 0 FREE
$
$***** VENTO ALADIN *****
INPGRID WIND REG -15.04 35.0 0. 188 125 0.08 0.08 NONSTAT &
20100101.0000 03.00 HR 20100131.2100
READINP WIND 1. 'wind_aladin_2010_01' 1 0 1 0 FREE
$
$***** MARE *****
INPGRID WLEVEL REG -9 37.0 0. 1 1 1 1 NONSTAT &
20100101.0000 01.00 HR 20101231.2300
READINP WLEVEL 1. 'mare_sines_2010.txt' 1
$
$*****BOUNDARY CONDITIONS *****
BOUNDNEST1 NEST 'sines_arco'
$*****CONSTANT*****
$***** PHYSICS*****
$
GEN3 WESTH AGROW
FRIC JON
PROP BSBT
NUM ACCUR 0.02 0.02 0.02 98 STAT 15 DIR CDD 0.5 CDLIM 4
$
$***** OUTPUT REQUESTS *****
QUANT HS excv=-99
QUANT HSWELL excv=-99
```

CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA  
NO ARCO LITORAL TRÓIA-SINES E SUA RELAÇÃO COM O PADRÃO MORFODINÂMICO DA PRAIA EMERSA

---

```
QUANT RTP excv=-99
QUANT TM01 excv=-99
QUANT PDIR excv=-99
QUANT DIR excv=-99
QUANT DEP excv=-99
OUTP OPTI TAB field=16
OUTP OPTI BLO ndec=5
$***** GRID DATA *****
$
FRAME 'Resul1' -8.91 37.96 0.0 0.14 0.54 200 600
BLOCK 'Resul1' NOHEADER 'swan_sines_nest_depth_2010_01.mat' LAY 4 XP YP
DEPTH &
OUT 20100101.0000 06.00 HR
BLOCK 'Resul1' NOHEADER 'swan_sines_nest_I_2010_01.mat' LAY 4 XP YP RTP HS
PDIR &
OUT 20100101.0000 06.00 HR
BLOCK 'Resul1' NOHEADER 'swan_sines_nest_II_2010_01.mat' LAY 4 XP YP WLEN
HSWELL &
OUT 20100101.0000 06.00 HR
BLOCK 'Resul1' NOHEADER 'swan_sines_nest_III_2010_01.mat' LAY 4 XP YP
DISSURF URMS &
OUT 20100101.0000 06.00 HR
$***** POINT DATA *****
$
$*****
$
TEST 0,0
$
COMPUTE STAT 20100101.0000
COMPUTE NONST 20100101.0000 30.00 MIN 20100201.0000
$
STOP
$
```