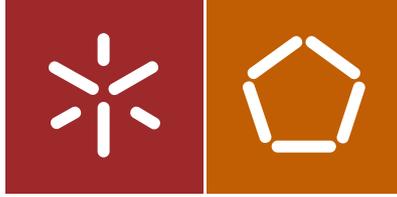




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

José João Fernandes Carneiro

Caracterização de estados de agitação
marinha e processos de propagação



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

José João Fernandes Carneiro

Caracterização de estados de agitação
marinha e processos de propagação

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor José Luís da Silva Pinho

e co-orientação da
Professora Doutora Helena Maria Granja

Agradecimentos

É com toda a sinceridade que aqui descrevo o meu agradecimento às pessoas que me apoiaram e sempre me incentivaram à realização da presente dissertação, com a sua atenção e disponibilidade.

O meu apreço em particular para com os Professores Doutor José Luís Pinho e Doutora Helena Granja, orientadores da Dissertação, pela prontidão, cedência de dispositivos necessários e sugestões partilhadas, que em muito contribuíram para a realização da mesma. Um muito obrigado, Senhor Professor e Senhora Professora.

Um agradecimento também para todos os Professores do curso de Mestrado Integrado em Engenharia Civil por todos os ensinamentos, conhecimentos e experiências transmitidas para concluir o curso e me preparar para o futuro como Engenheiro.

Gostaria de realçar o papel do grupo de Hidráulica do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho pelos métodos de ensino, bem como pela forma como incentiva os alunos.

À minha família pelo esforço empenhado para que não me faltasse nada no meu percurso académico, pelas suas palavras motivadoras sempre presentes, conselhos transmitidos ao longo da minha vida - a eles devo este curso e todas as minhas habilitações, ficando aqui o meu agradecimento especial.

Ao meu primo Leandro Costa, que sempre me apoiou; pelos seus conselhos, pela sua maneira de ser. Fico-te eternamente grato, primo.

Ao João Almeida e ao António Pereira pela companhia e ajuda, fundamentais na realização da presente dissertação.

Aos meus amigos por todos os momentos vividos quer bons quer maus, pois estiveram sempre presentes. Em especial aos meus amigos de Vizela, aos de Famalicão e ao meu grande amigo José Martins.

Resumo

Na presente dissertação tem-se por objetivo recolher dados de medições de estados de agitação marinha na zona em estudo que é composta por elevado número de seixos, permitindo uma caracterização de estados de agitação marinha da praia, mais propriamente a praia de Belinho situada em Esposende

É usual efectuar a caracterização da agitação com recurso a modelos numéricos complementados com registos de sensores de pressão instalados na zona em análise. Assim a caracterização de estados de agitação do trabalho aqui apresentado foi efectuada comparando os dados registados no sensor de pressão utilizado sendo ele o sensor TWR-2050, e os resultados das simulações efectuadas pelo software Coulwave, bem como os registos cedidos pelo Instituto Hidrográfico registados pela boia do porto de Leixões. O resultados apresentados são referentes as datas 24/04/2014, 28/04/2014, 13/05/2014 e 16/05/2014 e encontram-se em período de marés vivas.

Relativamente as campanhas efectuadas in situ, o sensor foi instalado num local situado antes da rebentação, numa superfície plana, com fácil acesso a partir das rochas, sendo este colocado numa estrutura devidamente preparada para o efeito, com recurso a diversos materiais de fixação.

Após a fase de recolha e análise dos dados das medições em campo, foi criado um modelo de agitação no *software* Coulwave, com base em registos da boia do porto de Leixões, com vista a simular os estados verificados em campanha, sendo que as condições de simulação introduzidas foram a altura significativa e o período significativo.

São apresentados todos os resultados e análises das medições e do modelo numérico de modo a avaliar as diferenças verificadas nos períodos em análise. Da comparação efectuada em ambos os métodos, referentes à altura significativa e período significativo, conclui-se que em grande parte os valores se assemelham, de onde se deduz que os métodos tem uma eficácia satisfatória. Importante referir também que os valores registados em Leixões, no dia referente a primeira campanha possuem uma diferença significativa para com os registos in situ e os do modelo numérico. Do

trabalho realizado é possível afirmar que a praia de Belinho não registou elevada agitação nas datas em análise e os dados de ondas registados são formadas ao largo.

Palavras-chave: Maré, agitação marítima, registo de agitação marítima, modelos de propagação da agitação

Abstract

The purpose of this work is to collect data from measurements of sea agitation in the study area which is composed of large number of pebbles, allowing a cause-effect analysis of the beach morphodynamics, allowing a characterization of sea agitation on the beach, more properly beach Belinho, located in Esposende, Braga.

It is usual to perform the characterization of sea agitation using the numerical models supplemented with records of pressure sensors installed in the area os study. Thus the characterization agitation states here presented here was made by comparing the data recorded in the pressure sensor used (the TWR-2050 sensor), and the results of the simulations by Coulwave software, as well as records assigned by the Hydrographic Institute recorded by Leixões harbor buoy. The results presented refer to the following dates: 24/04/2014, 28/04/2014, 05/13/2014 and 16/05/2014.

Regarding the campaigns carried out in situ, the sensor was installed at a location before the breaker point on a flat surface, with easy access from the rocks, which was placed in a structure properly prepared for this purpose, using various fastening materials.

After the phase of gathering and analyzing data from field measurements, a model of agitation in Coulwave software was created, based on records of Leixões harbor buoy, in order to simulate the observed states during campaigns; the conditions introduced in the simulation were the significant height and period.

All results and analysis of the measurements and the numerical model are presented in order to evaluate the differences in the periods under review. From the comparison made in both methods, related to the significant wave height and significant period, we concluded that the values largely resemble and thus the methods are satisfactory. It is also important to note that the values recorded in Leixoes on the day after the first campaign have a significant difference to the records in situ and the numerical model. From this work it is possible to affirm that the Belinho did not register

a high agitation on the study dates and the analyzed and recorded data show us that the waves are formed offshore.

Keywords: Tide, wave propagation, wave propagation registration, shore

Índice

Agradecimentos	i
Resumo.....	iii
Abstract	v
Índice de figuras	ix
Índice de tabelas	xiii
1 Introdução.....	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Estrutura da dissertação	3
2 Caracterização de sistemas costeiros.....	5
2.1 Caracterização da agitação	5
2.1.1 Regimes de agitação marinha	6
2.2 Classificação das ondas	8
2.3 Maré.....	9
2.4 Modelação de águas superficiais	11
2.4.1 Formulação matemática	11
2.4.2 Programas de modelação.....	12
2.5 Sensores de pressão.....	18
2.5.1 TWR-2050.....	18
2.5.2 AWAC	20
3 Metodologia de trabalho	23
3.1 Instalação do equipamento.....	23
3.2 Configuração do equipamento.....	27
3.3 Recolha de dados	29
3.4 Modelação de estados de agitação.....	30
3.4.1 Descrição do Modelo.....	30
4 Análise de resultados	35
4.1 Nota introdutória	35
4.2 Resultados das campanhas Realizadas	35
4.2.1 Campanha 1 - 24/04/2014	35
4.2.2 Campanha 2 - 28/04/2014	38
4.2.3 Campanha 3 - 13/05/2014	40

4.2.4	Campanha 4 -16/05/2014	43
4.3	Processamento de resultados de medição	45
4.3.1	Campanha 1 - 24/04/2014	48
4.3.2	Campanha 2 - 28/04/2014	51
4.3.3	Campanha 3 - 13/05/2014	55
4.3.4	Campanha 4 - 16/05/2014	58
4.4	Modelo Coulwave	61
4.4.1	Resultados Simulação 1 - 24/04/2014 (Preia-mar 11:00 min)	61
4.4.2	Resultados Simulação 2 - 28/04/2014 (Preia-mar 14:25 min)	64
4.4.3	Resultados Simulação 3 - 13/05/2014 (Preia-mar 13:45 min)	66
4.4.4	Resultados Simulação 4 - 16/05/2014 (Preia-mar 16:15 min)	68
5	Conclusões e sugestões para trabalhos futuros.....	71
6	Bibliografia	73
6.1	Recursos Web.....	76
7	Anexos.....	79

Índice de figuras

Figura 1 Características da onda (Perez,2005)	5
Figura 2 Definição dos diferentes tipos de profundidade (Pereira, 2008)	6
Figura 3 Modificação da forma espectral na propagação de ondas (Komar, 1988)	7
Figura 4 Atração exercida pela Lua e pelo Sol (ARPH, 2007)	10
Figura 5 Sensor de pressão TWR-2050.....	19
Figura 6 Ambiente de amostragem de resultados RBR.....	20
Figura 7 Sensor de Pressão AWAC (Nortek).....	21
Figura 8 1º Passo, escolha da superfície de suporte	23
Figura 9 2º e 3º Passo, Colocação das abraçadeiras e cabo de segurança	24
Figura 10 4º Passo, sensor envolto em fita tipo "Americana"	25
Figura 11 5º Passo, Colocação da corda de marinha na estrutura	25
Figura 12 6º Passo, Colocação do outro extremo da corda num local seguro	26
Figura 13 7º Passo, remoção da estrutura e colocação dos parafusos.....	26
Figura 14 Exemplo de ambiente de introdução de período de trabalho.....	27
Figura 15 Janela de introdução de opções avançadas	28
Figura 16 Posto de trabalho	28
Figura 17 Processo de exportação de dados no software Ruskin	29
Figura 18 Procedimento com fim de exportar o gráfico visível para o formato PDF.....	30
Figura 19 Linha de comandos.....	31
Figura 20 Obtenção de animações e resultados recorrendo a Software Matlab	32
Figura 21 Resultados do comando Spectrum_1D recorrendo a Matlab.....	32
Figura 22 Ficheiro ts_locations.....	33
Figura 23 Resultados de medição 24/04/2014,Altura significativa e Altura máxima de onda ...	35
Figura 24 Resultados de medição 24/04/2014, Período significativo Ts e Período de Pico Tmax	36
Figura 25 Profundidade registada pelo sensor TWR-2050 24/04/2014	36
Figura 26 Registos do Instituto Hidrográfico boia de Leixões 24/04/2014, Altura significativa e Altura máxima de onda	37
Figura 27 Registos do Instituto Hidrográfico boia de Leixões 24/04/2014, Período significativo Ts e Período de Pico Tmax	37
Figura 28 Resultados de medição, 28/04/2014, Altura significativa e Altura máxima de onda ..	38
Figura 29 Resultados de medição, 28/04/2014, Período significativo Ts e Período de Pico Tmax	38
Figura 30 Profundidade registada pelo sensor TWR-2050, 28/04/2014	39
Figura 31 Registos do Instituto Hidrográfico boia de Leixões, 28/04/2014, Altura significativa e Altura máxima de onda	39
Figura 32 Registos do Instituto Hidrográfico boia de Leixões, 28/04/2014, Período significativo Ts e Período de Pico Tmax	40
Figura 33 Resultados de medição 13/05/2014, Altura significativa e Altura máxima de onda ..	40
Figura 34 Resultados de medição 13/05/2014,Período significativo Ts e Período de Pico Tmax	41
Figura 35 Profundidade registada pelo sensor TWR-2050 13/05/2014	41
Figura 36 Registos do Instituto Hidrográfico boia de Leixões 13/05/2014, Altura significativa e Altura máxima de onda	42

Figura 37 Registos do Instituto Hidrográfico boia de Leixões 13/05/2014, Período significativo Ts e Período de Pico Tmax	42
Figura 38 Resultados de medição 16/05/2014 a) Altura significativa e Altura máxima de onda	43
Figura 39 Resultados de medição 16/05/2014, Período significativo Ts e Período de Pico Tmax	43
Figura 40 Profundidade registada pelo sensor TWR-2050 16/05/2014	44
Figura 41 Registos do Instituto Hidrográfico boia de Leixões 16/05/2014 a) Altura significativa e Altura máxima de onda	44
Figura 42 Registos do Instituto Hidrográfico boia de Leixões 16/05/2014 ,Período significativo Ts e Período de Pico Tmax	45
Figura 43 Comparação de valores médios referentes a boia de Leixões e o Sensor TWR-2050 Altura significativa	45
Figura 44 Comparação de valores médios referentes a boia de Leixões e o Sensor TWR-2050 Altura máxima	46
Figura 45 Comparação de valores médios referentes a boia de Leixões e o Sensor TWR-2050 Período significativo	46
Figura 46 Comparação de valores médios referentes a boia de Leixões e o Sensor TWR-2050 Período máximo	47
Figura 47 Valores da Energia referentes as diferentes Campanhas	47
Figura 48 Diferenças de Altura significativa entre registos do TWR-2050 e dados da Bóia de Leixões ,24/04/2014.....	48
Figura 49 Variação da Maré dia 24/04/2014	49
Figura 50 Diferenças do Período significativo entre registos do TWR-2050 e dados da Bóia de Leixões, 24/04/2014.....	50
Figura 51 Variação da maré 28/04/2014	52
Figura 52 Diferenças de Altura significativa entre registos do TWR-2050 e dados da Bóia de Leixões, 28/04/2014.....	52
Figura 53 Diferenças do Período significativo entre registos do TWR-2050 e dados da boia de Leixões, 28/04/2014.....	53
Figura 54 Diferenças de Altura máxima entre registos do TWR-2050 e dados da Bóia de Leixões, 28/04/2014.....	54
Figura 55 Variação da maré 13/05/2014	55
Figura 56 Diferenças de Altura significativa entre registos do TWR-2050 e dados da Bóia de Leixões, 13/05/2014.....	56
Figura 57 Diferenças do Período significativo entre registos do TWR-2050 e dados da Bóia de Leixões, 13/05/2014.....	56
Figura 58 Diferenças de Altura máxima entre registos do TWR-2050 e dados da Bóia de Leixões, 13/05/2014.....	57
Figura 59 Diferenças de Altura significativa entre registos do TWR-2050 e dados da Bóia de Leixões, 16/05/2014.....	59
Figura 60 Variação da maré 16/05/2014	59
Figura 61 Diferenças do Período significativo entre registos do TWR-2050 e dados da boía de Leixões, 16/05/2014.....	60
Figura 62 Variação da superfície livre referente ao dia 24/04/2014	62
Figura 63 Variação da superfície livre na localização do sensor referente ao dia 24/04/2014 ..	62

Figura 64 Espectro de agitação originado por dados do dia 24/04/2014	63
Figura 65 Variação da superfície livre referente ao dia 28/04/2014	64
Figura 66 Variação da superfície livre na localização do sensor referente ao dia 28/04/2014 .	64
Figura 67 Espectro de agitação originado por dados do dia 28/04/2014	65
Figura 68 Variação da superfície livre referente ao dia 13/05/2014	66
Figura 69 Variação da superfície livre na localização do sensor referente ao dia 13/05/2014 .	66
Figura 70 Espectro de agitação originado por dados do dia 13/05/2014	67
Figura 71 Variação da superfície livre referente ao dia 16/05/2014	68
Figura 72 Variação da superfície livre na localização do sensor referente ao dia 16/05/2014 .	68
Figura 73 Espectro de agitação originado por dados do dia 16/05/2014	69

Índice de tabelas

Tabela 1 Características das ondas capilares e gravitacionais(Gomes, 2003)	7
Tabela 2 Dados técnicos do sensor de pressão TWR-2050.....	20
Tabela 3 Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis registados em Belinho 24/04/2014	50
Tabela 4 Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis registadas pela boia do Porto de Leixões, 24/04/2014.....	51
Tabela 5 Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis registados em Belinho 28/04/2014	54
Tabela 6 Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis registadas pela boia do Porto de Leixões 28/04/2014.....	55
Tabela 7 Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis registados em Belinho 13/05/2014	57
Tabela 8 Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis registadas pela boia do Porto de Leixões 13/05/2014.....	58
Tabela 9 Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis registados em Belinho 16/05/2014	60
Tabela 10 Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis registadas pela boia do Porto de Leixões 16/05/2014.....	61
Tabela 11 Registo TWR-2050, dia 24/04/2014	79
Tabela 12 Registo TWR-2050, dia 28/04/2014	80
Tabela 13 Registo TWR-2050, dia 13/05/2014	82
Tabela 14 Registo TWR-2050, dia 16/05/2014	83
Tabela 15 Registo Boia Porto de Leixões, dia 24/04/2014.....	85
Tabela 16 Registo Boia Porto de Leixões, dia 28/04/2014	85
Tabela 17 Registo Boia Porto de Leixões, dia 13/05/2014.....	85
Tabela 18 Registo Boia Porto de Leixões, dia 16/05/2014.....	86

1 Introdução

1.1 Generalidades

O litoral representa uma importante faixa do território português, cuja preservação importa promover, não só devido aos valores naturais e paisagísticos que encerra, como também devido ao facto de nele se concentrarem três quartos da população portuguesa e de contribuir para 85 por cento do Produto Interno Bruto nacional.(A.P.Ambiente,2014)

Portugal possui cerca de 1450 km de costa e mais de metade da população portuguesa vive em concelhos do litoral.

É também no litoral que se situa a maior parte das indústrias, devido às disponibilidades hídricas, à facilidade de transportes (melhores vias rodoviárias, acesso a portos de escoamento de produtos e de entrada de matérias primas) e à proximidade dos maiores centros económicos (Machado,2008).

O mar é um poderoso agente erosivo cuja ação se faz sentir, principalmente, sobre a linha de costa.

Sendo que nas regiões litorais se encontram potenciais cidades de aproveitamento turístico, bem como locais de exploração de recursos marinhos, considera-se estas regiões de elevada importância para a vida humana e para o país.

Estas regiões estão sujeitas a vários agentes naturais como a agitação marítima, vento, marés, criando deste modo um sistema dinâmico, sendo que através de modelação hidroinformática poderemos prever o comportamento e a resposta de uma zona de estudo face a estes agentes.

A modelação da hidrodinâmica é fundamental no estudo da morfodinâmica costeira, visto que os movimentos dos sedimentos estão relacionados com as correntes. Desta forma, é possível prever a deposição de sedimentos na costa, a partir dos padrões hidrodinâmicos resultantes da propagação da agitação e das marés, sendo que as variáveis intervenientes no processo levam à criação de diferentes morfologias de praia.

1.2 Objetivos

O principal objetivo da presente dissertação consiste na caracterização de estados de agitação marinha e processos de propagação da agitação na praia de Belinho. Para tal foram utilizados dois tipos de metodologias: modelos de simulação e caracterização hidrodinâmica associados à propagação da agitação e recolha de dados em campo com base num equipamento instalado no local de estudo.

Os modelos de simulação permitem reproduzir alguns dos processos físicos mais relevantes e que afetam as zonas costeiras e que dependem essencialmente das características da agitação actuante, da batimetria, do vento e das marés. Os resultados assim obtidos servem para a caracterização da hidrodinâmica no local de estudo, podendo também permitir a previsão do comportamento expectável com base na alteração de fatores ambientais. Os modelos são capazes de reproduzir resultados fiáveis, visto que os dados que são introduzidos no modelo devem ser representativos das condições reais .

A recolha dos dados *in situ* permite, assim, que se obtenham registos locais sobre as características hidrodinâmicas que não são passíveis de simulação. Por outro lado, os registos assim obtidos servem para avaliar o desempenho de modelos que simulem as variáveis medidas.

1.3 Estrutura da dissertação

O trabalho apresentado está dividido em cinco capítulos.

O capítulo 1, **Introdução**, contém uma abordagem geral da presente dissertação e os respectivos objetivos.

O capítulo 2, **Caracterização de sistemas costeiros**, apresenta uma base teórica sobre hidráulica marítima, mais propriamente num sistema costeiro. Contém os principais fenómenos que ocorrem num sistema costeiro que serviram como base de orientação para a realização da dissertação. Abrange também a formulação matemática da propagação das ondas, bem como a descrição de possíveis equipamentos a utilizar no trabalho de campo.

No capítulo 3, **Metodologia de trabalho**, expõe-se os métodos usados em trabalho de campo e as opções tomadas na colocação da estrutura de suporte da sonda utilizada para medição da agitação. Pormenoriza-se a configuração do sensor e do *software* usado como forma de recolha de dados. Apresenta-se ainda o modelo numérico aplicado para comparação de resultados obtidos com as duas metodologias.

O capítulo 4, **Análise de resultados**, contém os resultados do trabalho de campo e do modelo de simulação implementado. São expostos os valores da altura significativa de onda, da energia e o espectro da agitação.

O capítulo 5, **Conclusões**, é referente às conclusões da presente dissertação.

2 Caracterização de sistemas costeiros

2.1 Caracterização da agitação

As ondas podem ser descritas geometricamente em termos da sua altura (H), comprimento (L) e profundidade da água (d). A partir deste trio geométrico é possível calcular os rácios H/L (declividade de onda), H/d (altura relativa) e d/L (profundidade relativa), os quais são usados para definir características de movimentos ondulatórios. Por exemplo, quando $d/L > 0.5$ estamos em presença de um meio de propagação em que as águas são consideradas profundas; para $0.1 < d/L < 0.5$ consideram-se águas de transição; para $d/L < 0.1$ águas pouco profundas; se H/L possui um valor máximo de $1/7$ classificam-se águas profundas; no caso de possuir o valor de $1/10$ são consideradas águas pouco profundas. As características descritas anteriormente estão representadas na Figura 1.

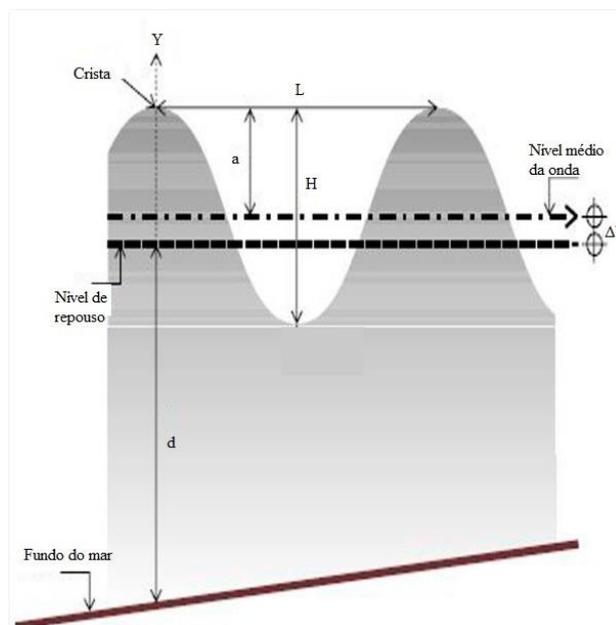


Figura 1 Características da onda (Perez,2005)

Outras definições úteis incluem a amplitude da onda (A) (igual a $H/2$) e o período das ondas (T), que é igual ao intervalo de tempo entre a passagem de cristas sucessivas num ponto fixo. O inverso do período de onda, $1/T$ é a frequência, (f). Um período de uma onda completa é representado pela frequência angular = 2π radianos.

Na Figura 2, apresenta-se a classificação de uma zona em análise em relação à sua profundidade.

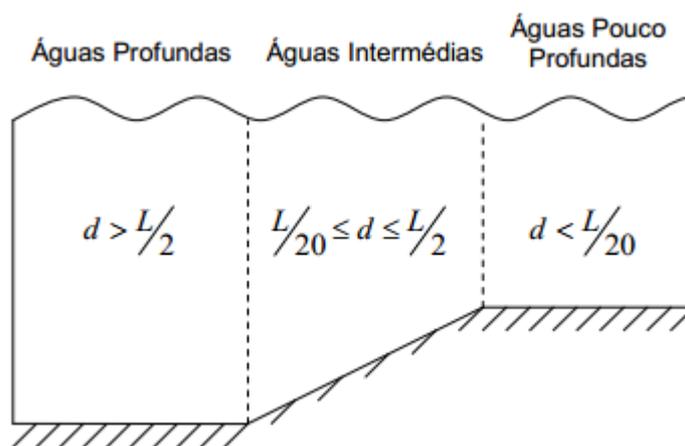


Figura 2 Definição dos diferentes tipos de profundidade (Pereira, 2008)

Interessa ainda definir as seguintes variáveis:

Altura Significativa – H_s (m): Média do terço mais elevado das alturas de onda que foram registadas durante o período de observação. Corresponde aproximadamente à avaliação visual da altura das ondas; (Hidrográfico, 2014).

Altura Máxima – H_{max} (m): Máxima altura de onda registada durante o período de observação; (Hidrográfico, 2014)

Período Médio – T_z (s): Média dos períodos observados no registo. Representa o período típico das ondas registadas durante o período de observação; (Hidrográfico 2014)

A agitação marinha e as correntes de maré nas zonas costeiras propiciam o transporte longitudinal de material particulado segundo a linha de costa, impondo também forças hidrodinâmicas que caracterizam as zonas costeiras e estuários.

2.1.1 Regimes de agitação marinha

Os regimes de agitação podem apresentar duas formas “sea” e “swell” mais frequentes. As cristas mais longas, com aparência sinusoidal são geradas por ventos distantes do local da onda observada e são denominados de swell, podendo propagar-se

milhares de quilómetros. A superposição de várias ondas ocorre devido à constante interação do vento que provoca ondas com cristas pequenas, denominadas sea, ou ondas de vento. A classificação dos diferentes tipos de ondas poderá ser feita utilizando-se como critério o respetivo Período de onda, Tabela 1.

Tabela 1 Características das ondas capilares e gravitacionais(Gomes, 2003)

Onda	Período	λ	Tipo de Onda*	Forçante
Capilar	< 0,1 s	< 2 cm	profunda - rasa	ventos locais
Chop	1-10 s	1-10 m	profunda- rasa	vento locais
Swell	10-30 s	> dezenas m	profunda- rasa	tempestades distantes
Seiche	10 min- 10 h	> dezenas Km	rasa- intermediária	vento, ressonância de maré
Tsumani	10-60 min	> dezenas Km	rasa-intermediária	distúrbio submarinos
Marés	12,4-24,8 h	centenas de Km	rasa	Astronômica

Admitindo que o estado do mar (fora da zona de geração) é descrito por um processo estocástico (estacionário e ergódico), e admitindo independência das várias componentes, então a agitação irregular pode ser considerada pela soma de infinitas ondas monocromáticas (Sancho, 2002).

Na Figura 3 apresentam-se distintas configurações do espectro resultante em função do tipo de agitação que é verificada no local a que se refere.

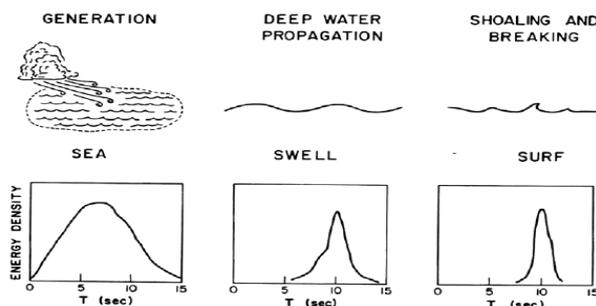


Figura 3 Modificação da forma espectral na propagação de ondas (Komar, 1988)

A Figura 3 permite também efectuar uma análise sobre a geração das ondas através do período de onda bem como a forma do espectro.

2.2 Classificação das ondas

No oceano, as ondas de superfície são geradas pelo vento através das forças de pressão e atrito que perturbam o equilíbrio da superfície do oceano. Estas ondas dependem da intensidade do vento, do intervalo de tempo em que o vento se mantém e da extensão da superfície livre sobre a qual o vento sopra sem obstruções (Silva, 2008). As ondas, geradas principalmente pelo vento, propagam-se para o litoral através da plataforma continental. À medida que uma onda se propaga para a costa, a profundidade vai diminuindo, havendo modificação na forma da onda à superfície, na velocidade orbital, na aceleração orbital e a dinâmica das ondas vai-se tornando progressivamente não linear e dissipativa. Durante a propagação das ondas, o perfil destas altera-se relativamente aos dois eixos, horizontal e vertical, pois a superfície livre vai-se tornando pontiaguda sobre a crista da onda, mais larga na cava e relativamente íngreme na face onde rebenta. (Santos,2012)

A modificação da forma das ondas, que deriva da alteração das componentes harmónicas relativamente às que continha inicialmente, conduz à rebentação das ondas (Abreu, 2006).

A propagação das ondas para e, junto à costa, envolve processos como o empolamento, a rebentação e a dissipação das ondas. Estes processos são descritos através de equações propostas por vários autores e que podem ter a sua origem na teoria linear de ondas.

O movimento das partículas da água durante a propagação de uma onda à superfície na direcção vertical e horizontal tem escalas semelhantes. Contudo, as acelerações verticais das partículas de água são significativas e têm a mesma ordem de grandeza que a aceleração da gravidade, g . (Silva, 2008).

Na propagação de uma onda na superfície livre do oceano, as partículas de água movem-se quer à superfície quer no interior da coluna de água e a trajetória das partículas depende da razão entre a profundidade local e o comprimento de onda.

Em águas profundas, a velocidade de fase depende do comprimento de onda e as ondas de maior comprimento de onda propagam-se a uma maior velocidade de fase comparativamente às ondas de menor comprimento de onda. As ondas são dispersivas e a elevação da superfície livre é idêntica a uma onda sinusoidal com frequência angular. (Santos,2012)

À medida que a onda se aproxima da costa o movimento das partículas é condicionado pela presença do fundo. Aí, as partículas de água descrevem uma elipse na sua trajetória.

Na aproximação de águas pouco profundas, as ondas são não dispersivas, pois os diferentes comprimentos de onda propagam-se com a mesma velocidade de fase que depende da profundidade.

2.3 Maré

A maré tem como causa a atração gravitacional exercida principalmente pelo Sol e pela Lua. A influência da Lua é muito superior, pois, embora a sua massa seja menor que a do Sol, esse facto é compensado pela menor distância em relação à Terra.

As marés apresentam alturas variáveis ao longo do tempo influenciadas pelo movimento orbital dos astros que estão na sua génese.

Os tempos e amplitude das marés de um local são influenciados pelo alinhamento do Sol e da Lua como se pode verificar na Figura 4, pelo padrão das marés no oceano, pela forma da linha de costa e batimetria. Assim, é possível afirmar que a previsão das marés através de um modelo poderá não reproduzir a realidade devido aos efeitos da morfologia costeira sobre o fluxo das marés. No entanto, para um determinado local é relativamente constante e previsível a relação entre a altitude lunar e o tempo de maré alta ou baixa, assim como o tempo de preia ou baixa-mar em relação a outros pontos na mesma costa.

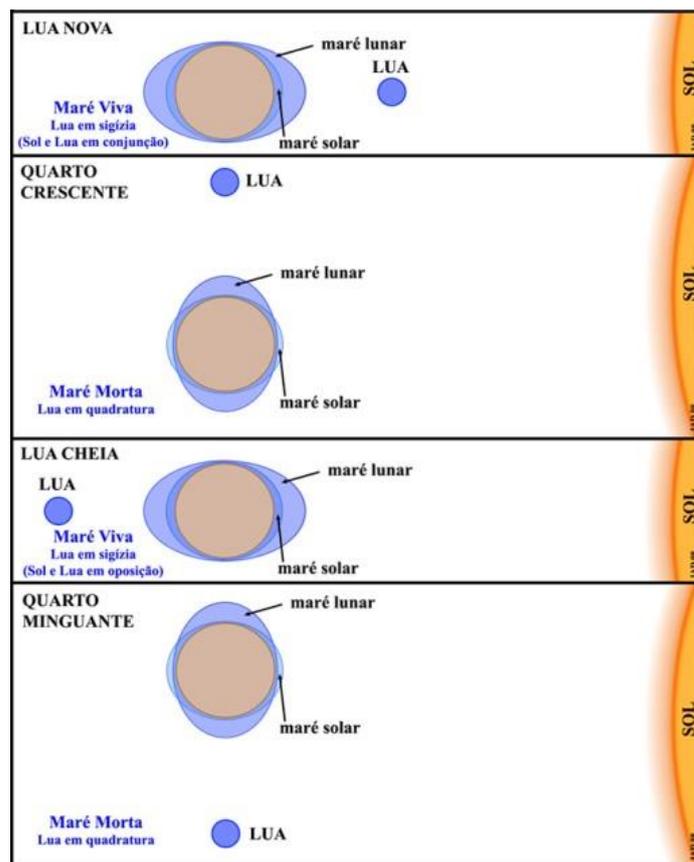


Figura 4 Atração exercida pela Lua e pelo Sol (ARPH, 2007)

As preia-mares sucedem-se assim, regularmente, com um intervalo médio de meio-dia lunar (aproximadamente. 12h 25min) o que corresponde matematicamente à constituinte lunar semidiurna (M2). Por sua vez, o intervalo de tempo entre uma preia-mar e a baixa-mar seguinte é, em média, 6 h 13 min. No entanto, o mar não reage instantaneamente à passagem da Lua, havendo, para cada local, um atraso maior ou menor das preia-mares e baixa-mares. (Hidrográfico, 2014)

Outro aspecto importante a ter em conta é o fenómeno quinzenal da alternância entre marés vivas e marés mortas; este fenómeno, matematicamente explicado pela constituinte S2 (solar semidiurna), decorre do efeito do sol como elemento "perturbador". Com efeito, quando o sol e a lua estão em oposição (lua cheia) ou conjunção (lua nova), a influência do sol reforça a da lua e ocorrem as marés vivas. Por outro lado, quando o sol e a lua estão em quadratura (quarto crescente e quarto minguante), a influência do sol contraria a da lua e ocorrem as marés mortas. (Hidrográfico, 2014)

Regra geral, as amplitudes de marés vivas em Portugal continental são cerca de 1,5 m. Isto é, o mar sobe e desce 1,5m em relação ao nível médio. Em marés mortas, a amplitude da maré é da ordem dos 70 cm. (Hidrográfico, 2014)

2.4 Modelação de águas superficiais

2.4.1 Formulação matemática

2.4.1.1 Equações de Nwogu's Boussinesq

Num esquema numérico 2D, os termos não-lineares que descrevem a propagação das ondas de água superficiais são representados como funções das velocidades das partículas de superfície livre (Nwogu,1996). No modelo unidimensional Nwogu's Boussinesq, as equações são as seguintes:

$$\left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}[(d + \eta)u]\right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(z + \frac{d}{2}\right) d \frac{\partial^2 (du)}{\partial x^2} + \left(\frac{z^2}{2} - \frac{d^2}{6}\right) d \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + Z \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(d \frac{\partial u}{\partial t} \right) + \frac{Z^2}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right) = 0 \quad (2)$$

Onde:

η	Elevação da superfície da água;
d	Profundidade da água;
g	Aceleração da gravidade;
t	Tempo;
u	Velocidade na direcção horizontal;

Z Profundidade arbitrada;

Sendo $Z=0$ d

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \alpha D^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(d + \eta)u] + \beta D^3 \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} = 0 \quad (4)$$

2.4.2 Programas de modelação

2.4.2.1 Delft3D

O Delft3D é um produto desenvolvido pela Deltares para uma abordagem multidisciplinar e cálculos 3D para áreas costeiras, fluviais e estuarinas. Permite realizar simulações dos fluxos, de transportes de sedimentos, de ondas, da qualidade da água, da evolução morfológica e ecológica.

O Delft3D divide-se em vários módulos, sendo eles WAVE (propagação de ondas curtas), WAQ (qualidade da água), PART (arrasto de partículas), ECO (modelação ecológica), SED (transporte de sedimentos coesivos e não-coesivos).

O módulo hidrodinâmico Delft3D-FLOW tem a característica de poder simular fluxos não estáveis em duas ou três dimensões, que resultam da maré e da meteorologia. O presente módulo tem como áreas de aplicação ondas e fluxos de tempestade, simulações de fluxo fluvial, simulação em lagos profundos e reservatórios, simulação de tsunamis, saltos hidráulicos, ondas de cheia, estratificação térmica em lagos, marés e reservatórios, transporte de sedimentos e morfologia, agitação da maré.

O módulo hidrodinâmico trabalha com as equações de Navier-Stokes para fluídos incompressíveis, com as seguintes aproximações:

- A aceleração vertical é considerada desprezível quando comparada à aceleração da gravidade, justificando-se pelo facto de a escala (profundidade/escala horizontal) ser muito pequena (aproximações de águas rasas). Assim, a equação do momento é reduzida à equação do equilíbrio hidrostático;

- Somente a variação longitudinal da densidade é levada em conta no cálculo do componente baroclínico da força de gradiente de pressão (aproximação de Boussinesq);
- O atrito moderado é considerado como condição de contorno no fundo (condição de escorregamento);
- Modelo de turbulência anisotrópica (horizontal \neq vertical).

O método usado de modo a apresentar os resultados baseia-se no método das diferenças finitas e uma grelha curvilínea.

O programa de pós-processamento, denominado Delft-GPP, oferece algumas opções gráficas de apresentação dos resultados das simulações. De entre os perfis mais utilizados destacam-se: a) séries históricas das quantidades simuladas (nível da água, velocidades, concentração) em qualquer ponto do domínio; b) mapa (nível da água, vetores de velocidade, batimetria) para intervalos de tempo definidos; c) deslocamentos de partículas inertes durante a simulação. O programa oferece também uma ferramenta para a geração de animações de séries históricas das quantidades simuladas (mapas de níveis, velocidades, concentrações, manchas de óleo ao longo do tempo, batimetria, etc). (RIBAS,2004)

2.4.2.2 Modelo SWAN

O modelo SWAN - acrónimo de Simulating Waves Nearshore - é um modelo numérico para geração, propagação e dissipação da agitação marítima, baseado na equação para a conservação da ação de onda. Trata-se de um modelo de domínio público (*freeware*), em constante desenvolvimento pela Delft University of Technology da Holanda, que possui como uma das maiores vantagens a manutenção da estrutura dos ficheiros de dados e de resultados, o que permite a fácil atualização de versões mais robustas e completas do modelo sempre que necessário. (Santos,et al.,2005)

Este modelo propaga a agitação marítima desde o largo até próximo da costa considerando os processos físicos de refração, difração e empolamento devido a variações do fundo e presença de correntes, crescimento de onda por ação dos ventos, rebentação por influência do fundo e por excesso de declividade (*whitecapping*),

dissipação de energia devido à fricção do fundo, bloqueio e reflexão por correntes opostas e transmissão através de obstáculos. (Santos,et al.,2005)

O campo de ondas na zona em estudo é caracterizado pelo espectro bidimensional de densidade da ação da agitação marítima. Com esta representação, é possível a aplicação do modelo em áreas onde o crescimento da agitação marítima pela ação do vento seja notável ou onde estados de mar, ou mesmo ondulação, estejam presentes. A propagação da agitação, nos modos estacionário ou não estacionário, nos espaços geográfico e espectral, é realizada utilizando esquemas numéricos implícitos. A zona em estudo pode ser descrita com coordenadas cartesianas ou esféricas, utilizando uma malha “retangular”. (Santos,et al.,2005)

Os dados necessários para a execução do SWAN são a malha batimétrica da zona a modelar e as condições de agitação na fronteira de entrada do domínio, para além de um conjunto de outros parâmetros de cálculo. De entre os vários resultados obtidos pelo SWAN destacam-se a altura significativa, os períodos de pico e médio, as direções de pico e média, a dispersão direcional, o parâmetro de largura de banda e nível de água em qualquer parte do domínio computacional. (Santos,et al.,2005)

De entre as limitações do modelo referem-se as seguintes:

A calibração de muitos dos parâmetros envolvidos na descrição dos diferentes fenómenos físicos no SWAN baseou-se em dados da campanha JONSWAP, realizada no Mar do Norte (Hasselmann et al., 1973). Tais parâmetros poderão não estar corretos para áreas com diferentes características de clima de ondas (ondas associadas ao estado de mar, vaga e ondulação) ou para diferentes características do fundo marinho.

A difração no SWAN é modelada de modo simples como uma dispersão direcional, o que pode constituir a sua principal limitação, além de não considerar os efeitos de espalhamento de Bragg.

A inclusão da difração nos cálculos numéricos implica que o espaçamento da malha computacional, relativamente ao comprimento de onda, seja tal que garanta a convergência dos cálculos computacionais. Isso implica, por vezes, que as malhas sejam de tal dimensão que pode inviabilizar a execução dos cálculos.

2.4.2.3 BOUSS-2D

BOUSS-2D é baseado no tipo de Boussinesq com equações derivadas por Nwogu (1993, 1996). As equações integram a profundidade para a conservação da massa e impulso para as ondas não-lineares que se propagam superficialmente e em profundidades. Podem ser consideradas equações como uma perturbação da água superficial, que são frequentemente utilizados para simular os fluxos de maré nas regiões costeiras. (Demirbilek,2001)

Para ondas de curto período, as velocidades horizontais não são uniformes em profundidade.

As equações que integram a profundidade são capazes de descrever a propagação e transformação de ondas multidirecionais irregulares sobre a água de profundidade variável. O perfil de elevação da velocidade variável é um parâmetro livre e é escolhido para minimizar as diferenças entre as características de dispersão lineares do modelo e a relação de dispersão exata para pequenas ondas de amplitude. (Demirbilek,2001)

O campo de fluxo turbulento é altamente rotativo e de extrema e complexa modelagem. BOUSS-2D não tenta modelar os detalhes do movimento turbulento, mas, em vez disso, simula o efeito de turbulência induzida por quebra no campo de fluxo.

A aceleração das ondas na orla costeira fornece uma importante condição de contorno para a previsão de correntes induzidas por ondas e transporte de sedimentos na zona de arrebentação. O limite de altura de galgamento também é importante para determinar a altitude mínima de crista de estruturas costeiras para evitar galgamento e/ou inundações. Deste modo, BOUSS-2D criou um esquema de implementação do limite de galgamento.

BOUSS-2D, opcionalmente, fornece um mecanismo para simular a turbulência e mistura que ocorre em regiões com grandes gradientes das velocidades horizontais.

2.4.2.4 *Coulwave*

O modelo COULWAVE é um modelo de diferenças finitas para a propagação de ondas fortemente não lineares. O modelo permite simular a maioria dos fenômenos intervenientes na transformação da onda em fundos de profundidade variável e na presença de correntes, emolamento (linear e não linear), difração, refração pelo fundo e devida às correntes, dispersão de frequência e de amplitude, espraçamento (*run-up*) e dissipação de energia por rebentação da onda. (Lynett e Liu, 2010)

As equações do modelo, do tipo de Boussinesq, são deduzidas a partir da integração em profundidade das equações de continuidade e movimento, utilizando o conceito de camadas múltiplas (*multi-layer*). Em cada camada admite-se um dado perfil de velocidades. Com estes perfis de velocidade, que coincidem na fronteira entre camadas, é deduzido um conjunto de equações que permite estender a aplicabilidade do modelo a águas muito profundas. (Teixeira, et al., 2010)

Lynett e Liu introduziram termos adicionais nas equações de modo a ter em conta o atrito de fundo, a rebentação de ondas, o espraçamento, a geração de ondas no interior do domínio. Além disso, incluíram termos de profundidade dependentes do tempo para ter em conta variações do perfil de fundo no tempo devido à ocorrência de um deslizamento ou de um sismo. (Teixeira, et al., 2010)

A resolução das equações referidas é semelhante à formulação apresentada por Wei et al., utilizando um esquema predictor-corrector de Adams-Bashforth. O esquema de diferenças finitas consiste num esquema explícito de Adams-Bashforth de 3ª ordem no tempo para o passo predictor e implícito de 4ª ordem no tempo para o passo corrector. Para as derivadas espaciais, são utilizadas diferenças finitas centrais com uma precisão de 4ª ordem. As derivadas espaciais e temporais de ordem superior são efetuadas com uma precisão de 2ª ordem. (Teixeira, et al., 2010)

É de salientar que o modelo, como admite aproximações para a distribuição vertical da velocidade em cada uma das camadas em que é dividida a coluna de água, variações significativas do fundo podem não ser corretamente simuladas pelo modelo.

Os dados de entrada do modelo COULWAVE encontram-se explicados em Lynett e Liu e alguns dos resultados fornecidos pelo modelo constam das séries

temporais e espaciais da elevação da superfície livre e velocidades horizontais nos pontos do domínio definidos pelo utilizador. (Teixeira, et al., 2010)

2.4.2.5 COBRAS-UC

O modelo numérico COBRAS-UC (Cornell Breaking Waves and Structures - Universidad Cantabria, Lara et al., 2006) foi inicialmente desenvolvido por Lin e Liu (1998). Trata-se de um modelo bidimensional de elementos finitos, baseado num código denominado RIPPLE, desenvolvido por sua vez em Los Alamos National Laboratory por Kothe et al,1991. É usado para estudar os efeitos de propagação, empolamento e rebentação de um grupo de ondas quer fora, quer na zona de rebentação (*surf zone*). (Pedro Alvo,2008)

O modelo COBRAS-UC resolve as equações RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) e apresenta as seguintes características:

- Recorre ao método VOF (Volume of Fluid) para localizar a posição da superfície livre (Hirt e Nichols, 1981), o qual consiste em avaliar as mudanças de densidade em cada célula da malha de elemento finitos, ao invés de calcular a posição exata da superfície livre;
- Resolve as equações de movimento usando dois métodos de diferenças finitas (Chorin, 1968, 1969), melhorando assim a exatidão dos seus resultados;
- A malha usada pode ser de dimensão variável;
- Permite a definição de obstáculos (estruturas) e meios porosos e para estes está incluído um modelo de dissipação de energia não linear;
- Inclui um modelo de dispersão de poluentes;
- Podem ser estudados vários tipos de onda incidente: linear, Stokes II, cnoidal, entre outras;

COBRAS-UC consegue simular fenómenos como reflexão, transmissão, galgamento e rebentação, devidos a efeitos não lineares, para qualquer geometria e escoamentos em meios porosos. (Pedro Alvo,2008)

Concluída a simulação realizada pelo modelo numérico, este devolve informação, em pontos definidos no ficheiro de dados (sondas), relativa a:

- Pressão;
- Vorticidade;
- Viscosidade;
- Energia cinética;
- Velocidades horizontais e verticais;
- Posição da superfície livre.

A correta utilização do modelo exige um bom conhecimento do mesmo. Por outro lado, a execução das simulações requer um intervalo de tempo considerável. Adicionalmente, há que ter em conta que é necessário calibrar os coeficientes de atrito linear e não linear dos meios porosos. (Pedro Alvo,2008)

2.5 Sensores de pressão

2.5.1 TWR-2050

O TWR-2050 (figura 5) é um sensor submersível independente, projetado para medir dados de marés e ondas. Além da capacidade para a medição da maré, o TWR-2050 é capaz de medir um elevado número de dados de pressão para a análise das ondas. O gravador “RBR Tide / Wave” é muito preciso e pequeno e pode ser montado no fundo do mar ou porto, preso a uma estrutura já existente, ou ligado a uma linha de amarração.



Figura 5 Sensor de pressão TWR-2050

O tempo médio de recolha de dados é de 10 segundos a 9 horas, seleccionável pelo utilizador. As taxas de registo podem ocorrer em 1, 2 ou 4 Hz. A amostragem da onda é efetuada tomando 512, 1024 ou 2048 amostras a uma taxa de registo seleccionada.

O software RBR Windows tem uma ligação direta ao sensor e ao menu de configuração de exibição, que inclui a sincronização do sensor para o relógio do PC, estabelecendo o período de amostragem; permite definir o comprimento de ruptura média e iniciar e parar selecção de dados, por meio de um calendário gráfico . Os dados também podem ser salvos num arquivo.

Através do software RBR obtemos os seguintes dados (Figura 6):

Taxa de amostragem

Tempo do ciclo da maré

Tempo de rebentação da onda

Tempo do ciclo da onda

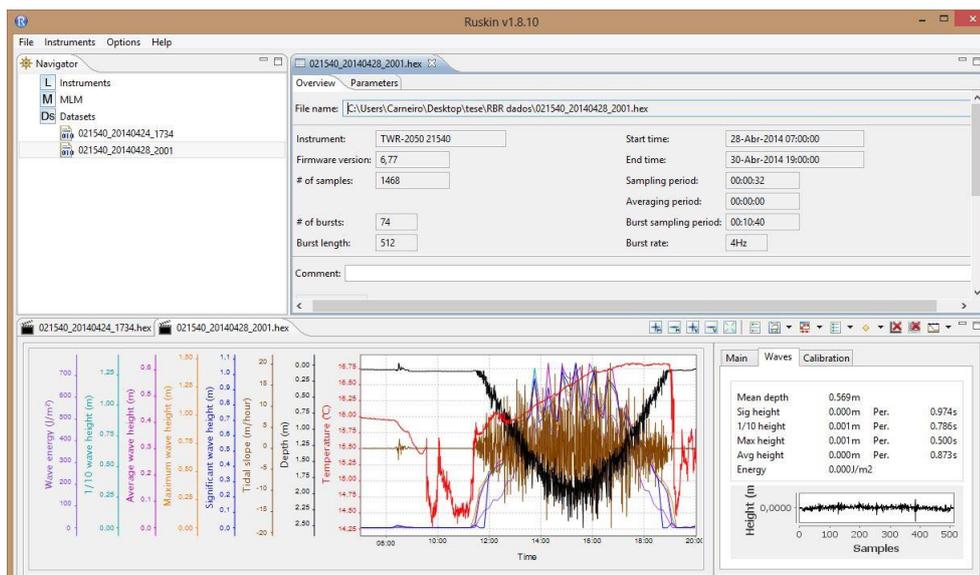


Figura 6 Ambiente de amostragem de resultados RBR

Na tabela 2, apresentada abaixo, faz-se referência aos dados técnicos do sensor de pressão TWR-2050, dados esses retirados do manual do instrumento.

Tabela 2 Dados técnicos do sensor de pressão TWR-2050

Technical	
Power	QTY 2,3V CR123A cells
Communications	RS-232/485;logged,cable,or telemetry
Download Speed	~115,000 sampes/minute
Clock Accuracy	± 32 seconds/year
Size	265mm x 38mm
Memory	8Mbyte Flash
Weight	364g; 70g in water
Calibration	NIST traceable standards

2.5.2 AWAC

O Nortek AWAC (Figura 7) é um instrumento que permite registrar estados de agitação, incluindo a respetiva direção de propagação. Podendo medir a velocidade atual e direção em camadas do fundo à superfície, é também capaz de medir ondas longas, ondas de tempestade, ondas de vento curtas ou ondas geradas pelo tráfego de navios no local.

O AWAC foi concebido como um sistema de monitorização costeira. É pequeno, robusto e adequado para operação de vários anos em ambientes difíceis. Pode funcionar com transmissão de registos em tempo real ou autonomamente munido de um gravador interno e baterias.

O sensor é geralmente montado numa estrutura no fundo, e protegido do tempo severo, bem como do tráfego de navios. Em uso autónomo, os dados brutos são armazenados para o gravador, sendo alimentado a partir de uma bateria externa. Possui uma variedade de opções para alcançar os resultados pretendidos, como por exemplo o intervalo de amostragem.

A AWAC mede três ondas diferentes, permitindo-nos chegar a estimativas de altura de onda e período da onda. De entre os dados recolhidos, destaca-se a pressão, velocidade de onda orbital e posição da superfície. A pressão é medida com alta resolução através de um elemento piezo-eletrónico. A velocidade orbital é medida pelo efeito Doppler ao longo de cada posição. A posição da superfície é medida com o acompanhamento de acústica de superfície (AST), um modo especial onde o instrumento funciona como um ecobatímetro invertido.

O facto de as ondas serem um evento aleatório requer que as medições sejam feitas ao longo de períodos de tempo definidos, ou rajadas. As células de medição e a janela de AST são adaptadas e configuradas durante o perfil de corrente que precede imediatamente a rebentação. A posição e a célula de velocidade, bem como a janela AST, são determinados com base na pressão mínima.



Figura 7 Sensor de Pressão AWAC (Nortek)

3 Metodologia de trabalho

3.1 Instalação do equipamento

O local de implantação do sensor de pressão encontra-se entre a foz do rio Cavado e a foz do rio Neiva, mais precisamente na praia de Belinho, que possui características muito particulares, visto ser uma praia de seixos.

A primeira fase da instalação do equipamento foi a escolha de uma superfície minimamente plana, de modo a efetuar a furação e para que a estrutura metálica usada para suporte do sensor de pressão ficasse fixa sem problemas de rotura quando submersa e sujeita à agitação.

Assim sendo foi feita uma primeira abordagem a praia em questão e foi escolhido um local de fácil acesso figura 8 em que a zona de rebentação de ondas ficasse afastada do local do sensor durante a sua instalação em baixa-mar.



Figura 8 1º Passo, escolha da superfície de suporte

A base da estrutura metálica é composta por quatro furos, de forma a ser aparafusada, e possui uma altura de um metro, sendo que ao longo da altura o sensor pode ser colocado em três posições distintas, optou-se por colocar o sensor a cinquenta centímetros da base. Após a estrutura estar devidamente aparafusada, procedeu-se à colocação do sensor na estrutura com recurso a um cabo de aço e ao respetivo “serra cabos”. Este foi fixo através de um orifício presente na estrutura. Seguidamente o sensor foi envolto com abraçadeiras de plástico largas e com fita isoladora “tipo americana”, como é possível verificar na figura 9 e figura 10..



Figura 9 2º e 3º Passo, Colocação das abraçadeiras e cabo de segurança



Figura 10 4º Passo, sensor envolto em fita tipo "Americana"

De modo a garantir que em caso de rutura a estrutura metálica e o respectivo sensor permanecessem intactos e não ocorresse a sua perda, foi colocada uma corda de “marinheiro”, figura 11 com suficiente folga com vista a não exercer qualquer tipo de tensão na base da estrutura na presença das ondas, figura12.



Figura 11 5º Passo, Colocação da corda de marinheiro na estrutura

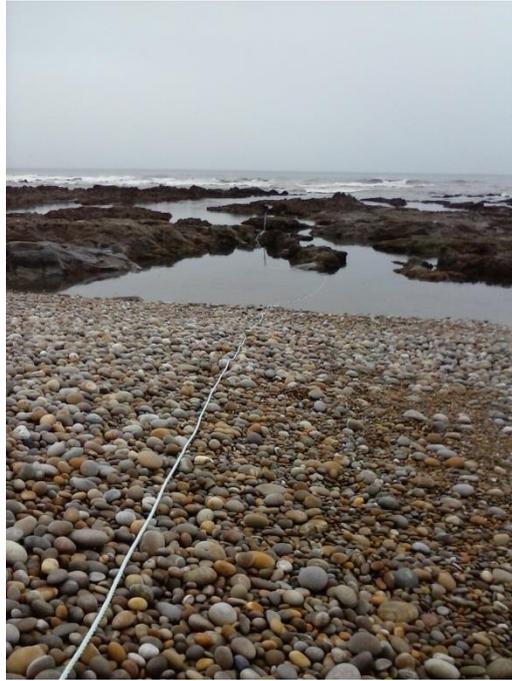


Figura 12 6º Passo, Colocação do outro extremo da corda num local seguro

No final da campanha, a estrutura foi removida no entanto, os parafusos permanecem nos locais das furações, de modo a não ficarem cobertos com areia, a fim de se poder voltar a usar a respectiva rocha noutras campanhas, figura 13.



Figura 13 7º Passo, remoção da estrutura e colocação dos parafusos

3.2 Configuração do equipamento

Para a configuração do equipamento, recorreu-se ao Software Ruskin, de modo a programar o sensor de pressão TWR-2050. Numa primeira fase, foi inserida a data de início e de fim em que se pretendia a obtenção de resultados (“Start of logging” e “End of logging”, Figura 14).

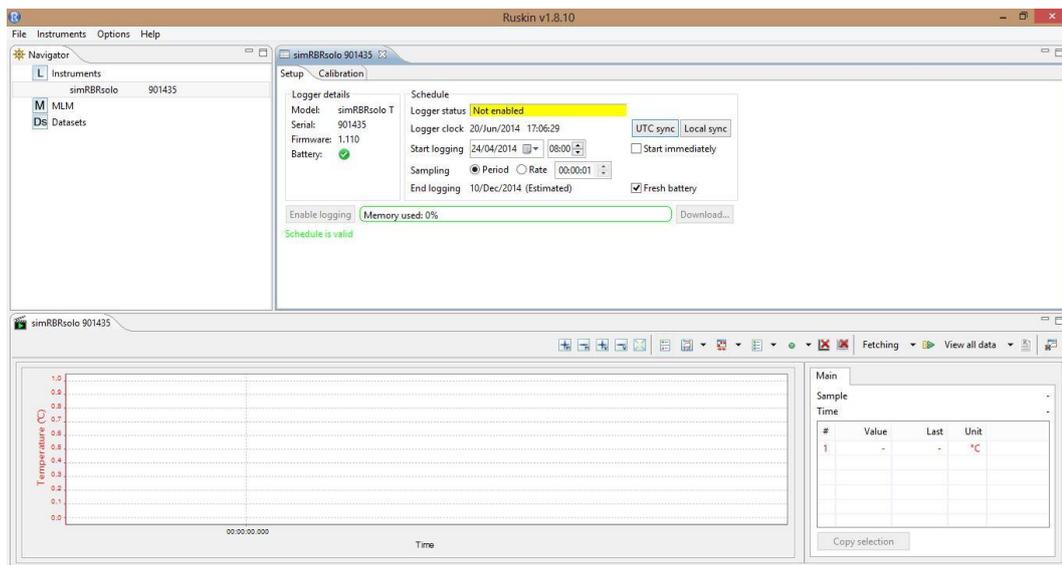


Figura 14 Exemplo de ambiente de introdução de período de trabalho

Abrindo a janela denominada definições avançadas (“Advanced features”), era facultado o período de recolha, sendo colocado um intervalo de 32 s.

No passo seguinte para configuração do equipamento, uma das variáveis a ser introduzidas é a profundidade média esperada (“Expected mean depth of water”), sendo que esta foi selecionada recorrendo à previsão de maré do Instituto Hidrográfico. Outra variável fundamental é a altura do sensor (“Altitude of instrument”), a qual é conhecida sendo introduzido 0.5 m, figura 15.

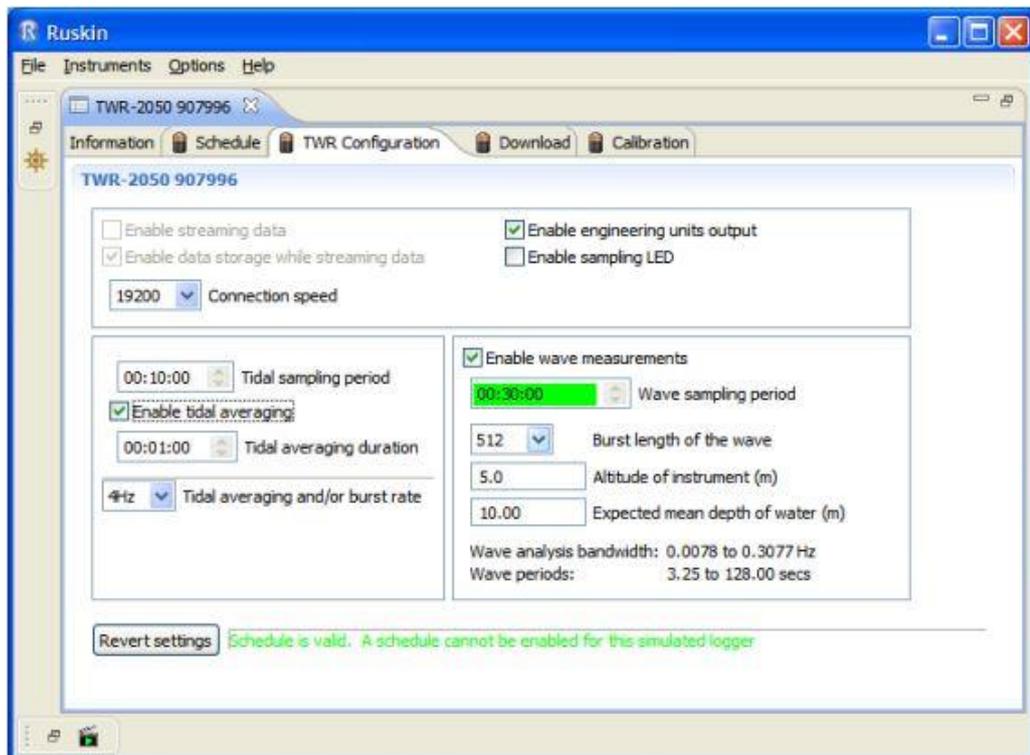


Figura 15 Janela de introdução de opções avançadas

A figura 16 ilustra o local de trabalho em campo, onde os dados eram tratados.



Figura 16 Posto de trabalho

3.3 Recolha de dados

A recolha de dados de ondas ocorreu durante as fases de marés vivas, após a ligação do instrumento ao software “Ruskin”. Posto isto, desligou-se o sensor e na opção “Download” foram descarregados os dados, nesse momento abre uma janela, na qual grava-se o ficheiro no formato “HEX” para que não se percam as informações registadas. Este procedimento deve ser realizado, pois o sensor elimina todos os dados no caso de efectuar uma nova medição, o software referido acima tem a particularidade de efectuar ,de forma automática o processamento de dados.

Quando é gravado o ficheiro “HEX”,o software “Ruskin” de forma automática denomina-o com um conjunto de números, por exemplo “021540_20140513_2026.hex” - aqui está representado, nos primeiros 6 dígitos, o número de série do sensor; nos 8 dígitos seguintes a data (nomeadamente o ano, mês e dia); por último, os 4 dígitos são referentes à hora em que foram descarregados os dados para o PC.

No separador “Menu”, abre-se o ficheiro referido acima em “Open dataset” e nesse momento apresentam-se todos os dados à disposição. É possível nesta fase exportar os dados para vários formatos, sendo eles Excel, Matlab, Bloco de notas, este procedimento pode ser verificado na figura 17..

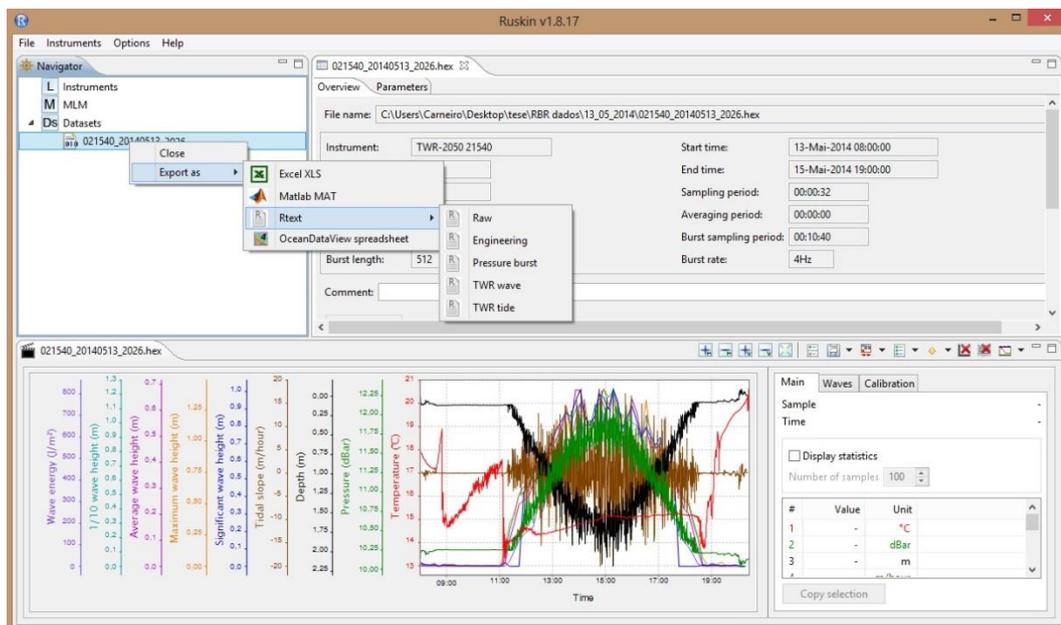


Figura 17 Processo de exportação de dados no software Ruskin

No ambiente do software, é visível o gráfico dos vários resultados recolhidos, podendo ser editado nos vários botões disponíveis na barra de ferramentas e ser exportado para formato “PDF” como se verifica na figura 18.

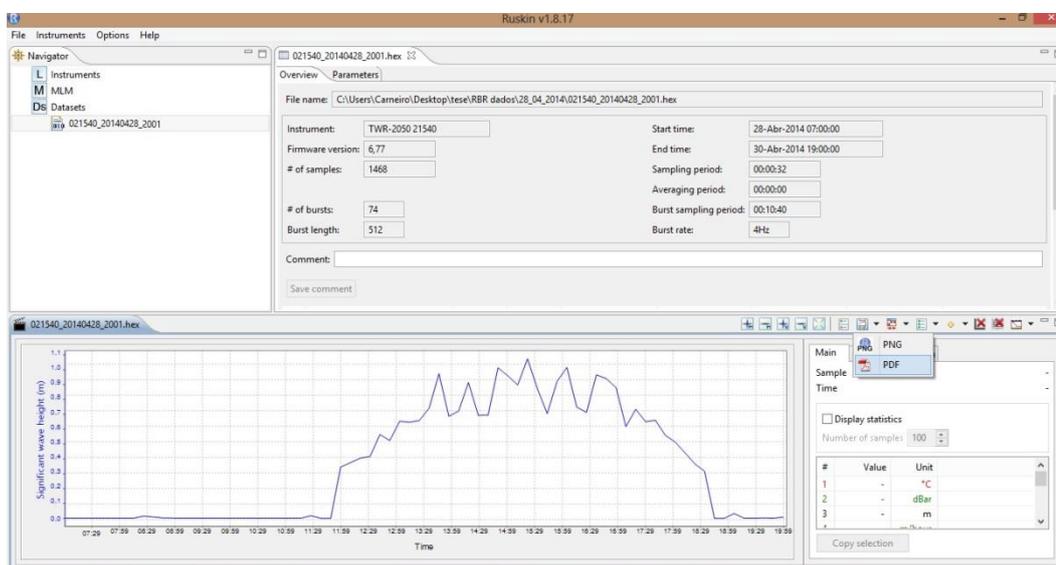


Figura 18 Procedimento com fim de exportar o gráfico visível para o formato PDF

No presente caso os registos uteis para análise são referentes a valores superiores a uma altura de 0.4 metros, altura essa que representa a completa submersão do sensor, os referidos registos encontram-se em anexo.

3.4 Modelação de estados de agitação

3.4.1 Descrição do Modelo

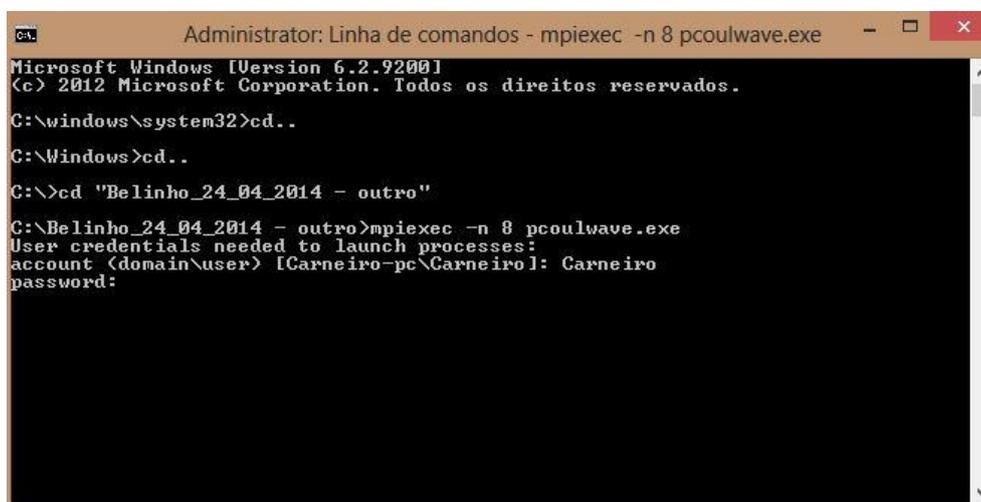
O modelo utilizado com finalidade de representar os estados de agitação referentes à praia de Belinho foi o Coulawave; as equações utilizadas neste modelo numérico permitem a simulação de ondas não lineares, bem como variação de ondas devido a diferente batimetria.

Os ficheiros existentes são editáveis consoante a finalidade pretendida, destacando-se o “Sim_set.dat” que é o ficheiro principal onde se inserem todas as opções para a simulação pretendida, como por exemplo o tempo de simulação, que neste caso foi considerado 600 segundos.

Segundo o manual do Software Coulwave, é possível simular um caso real. Assim, inseri o perfil da Praia de Belinho; de seguida, no ficheiro “Spectrum_1D” aberto e editado através do Matlab, inseri a altura de onda significativa e período significativo registados em Leixões, criando assim um espectro de agitação usado na criação de ondas, sendo considerada a batimetria constante.

A execução do modelo pode ser obtido recorrendo a linha de comandos do PC em modo administrador, executando em série ou paralelo. O modo de execução utilizado foi o “Paralelo”, sendo necessária a instalação da extensão “Mpich”.

Em primeiro lugar localiza-se a pasta referente à simulação a executar com os comandos “cd..” e “cd” ; de seguida, executa-se o programa com o comando “mpiexec -n 8 pcoulwave.exe”, onde se faz referência à extensão “Mpich”, o número de processadores, 8, e o ficheiro de execução do software, “pcoulwave”. Todo este processo poderá ser verificado na Figura 19.



```
Administrator: Linha de comandos - mpiexec -n 8 pcoulwave.exe
Microsoft Windows [Version 6.2.9200]
(c) 2012 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.
C:\windows\system32>cd..
C:\Windows>cd..
C:\>cd "Belinho_24_04_2014 - outro"
C:\Belinho_24_04_2014 - outro>mpiexec -n 8 pcoulwave.exe
User credentials needed to launch processes:
account <domain\user> [Carneiro-pc\Carneiro]: Carneiro
password:
```

Figura 19 Linha de comandos

Após o programa ter efetuado todos os cálculos, recorre-se de novo ao software “Matlab” que funciona como ferramenta de processamento de resultados. Neste ponto, abrimos o ficheiro da simulação desejada, permitindo verificar a variação da superfície livre no perfil da praia introduzido, através do comando “Seqplot_1D” (Figura 20).

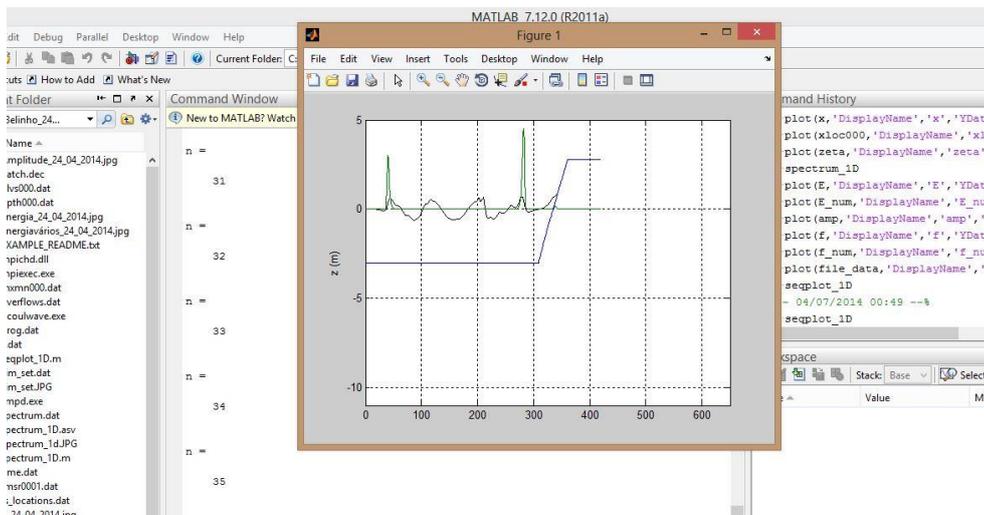


Figura 20 Obtenção de animações e resultados recorrendo a Software Matlab

Na figura 21, é possível verificar a energia de ondas, bem como a amplitude, recorrendo ao comando “Spectrum_1D”.

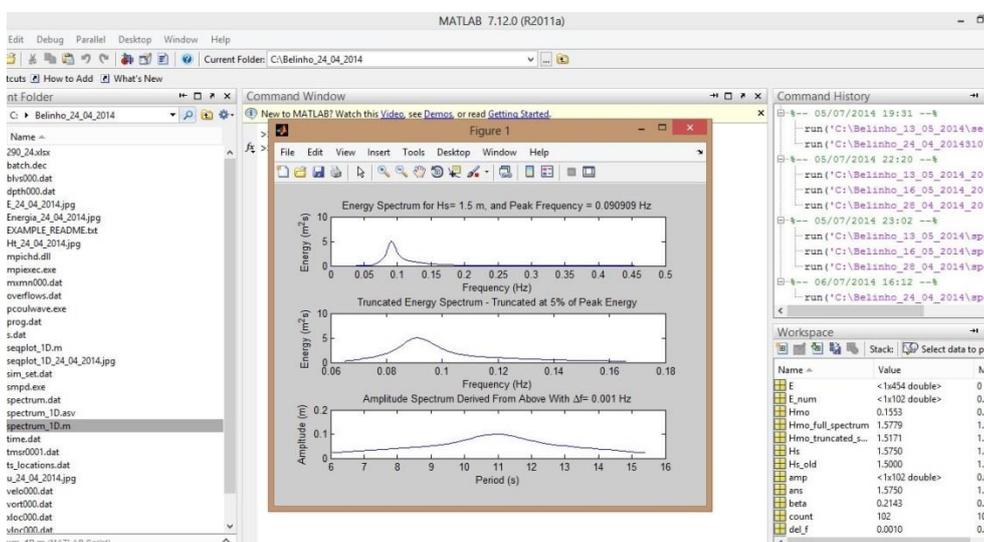


Figura 21 Resultados do comando Spectrum_1D recorrendo a Matlab

O modelo permite obter os resultados numa determinada localização - no presente caso foi introduzida a localização do sensor usado na praia de Belinho. Para isto, é necessário alterar para o número 1 na linha 96 do ficheiro “sim_set.dat”, que representa uma localização, e, no ficheiro “ts_locations.dat”, fazer referência ao local na primeira coluna, à distancia no referencial horizontal “X” e, na segunda coluna, o

referencial “Y”, como se verifica na figura 22. A localização inserida foi 10 metros distanciada da costa sendo introduzido como coordenada “X” 270 m, sendo também simulado para 100 metros de distância introduzindo o valor de 200 m como coordenada “X”, com vista a verificar a variação da agitação com a aproximação da costa.

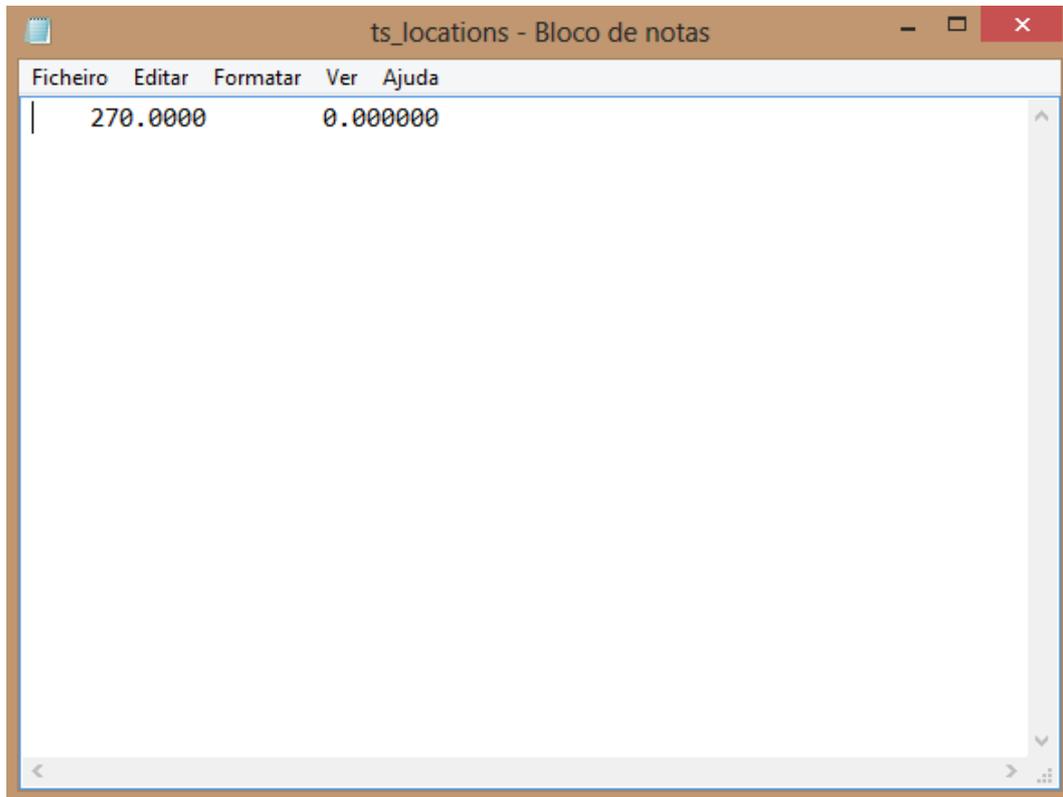


Figura 22 Ficheiro ts_locations

4 Análise de resultados

4.1 Nota introdutória

Neste capítulo, serão apresentados os resultados referentes às campanhas realizadas na praia de Belinho, bem como a caracterização dos estados de agitação. Foram realizadas 4 campanhas nos dias 24/04/2014, 28/04/2014, 13/05/2014 e 16/05/2014, denominadas C1,C2,C3,C4 respetivamente, de referir que os dias delineados para realização de campanha encontravam-se em período de marés vivas.

Para cada campanha, serão apresentados diversos elementos, nomeadamente altura significativa (H_s), altura máxima (H_{max}), período significativo (T_s), período máximo (T_{max}), energia (E) e as progressões respetivas.

4.2 Resultados das campanhas Realizadas

4.2.1 Campanha 1 - 24/04/2014

Nas figuras 23, 24 e 25, apresentam-se as séries temporais dos resultados relativos à altura significativa (H_s), altura máxima (H_{max}), período significativo (T_s) e período máximo (T_{max}), bem como a profundidade, obtidos pelo sensor de pressão no dia 24/04/2014.

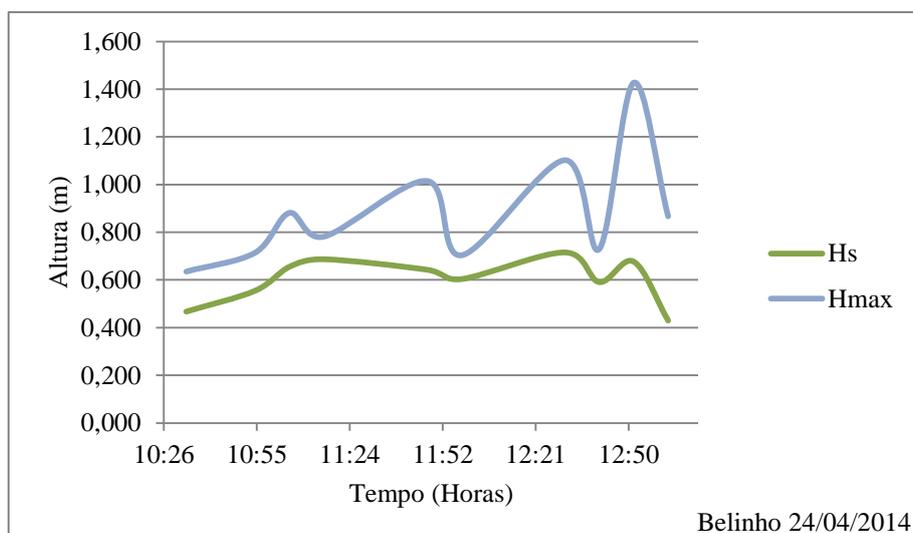


Figura 23 Resultados de medição 24/04/2014, Altura significativa e Altura máxima de onda

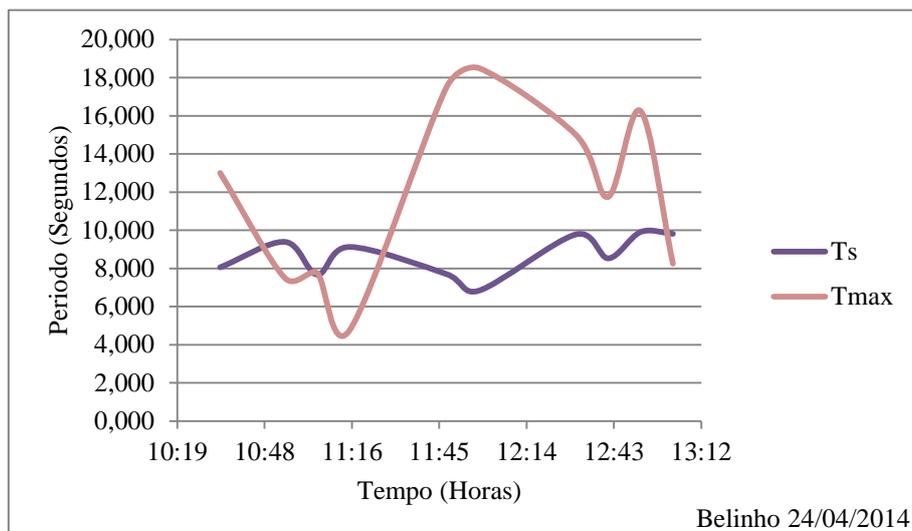


Figura 24 Resultados de medição 24/04/2014, Período significativo Ts e Período de Pico Tmax

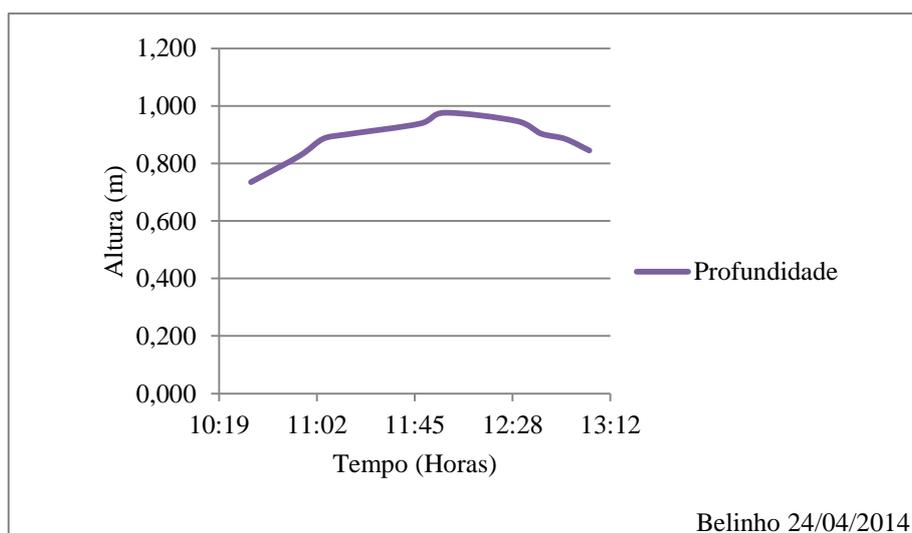


Figura 25 Profundidade registada pelo sensor TWR-2050 24/04/2014

Nas figura 26 e figura 27, apresentam-se as séries temporais dos resultados relativos à altura significativa (H_s), altura máxima (H_{max}), período significativo (T_s) e período máximo (T_{max}) registados pela boia do porto de Leixões, cedidos pelo Instituto Hidrográfico, no dia 24/04/2014.

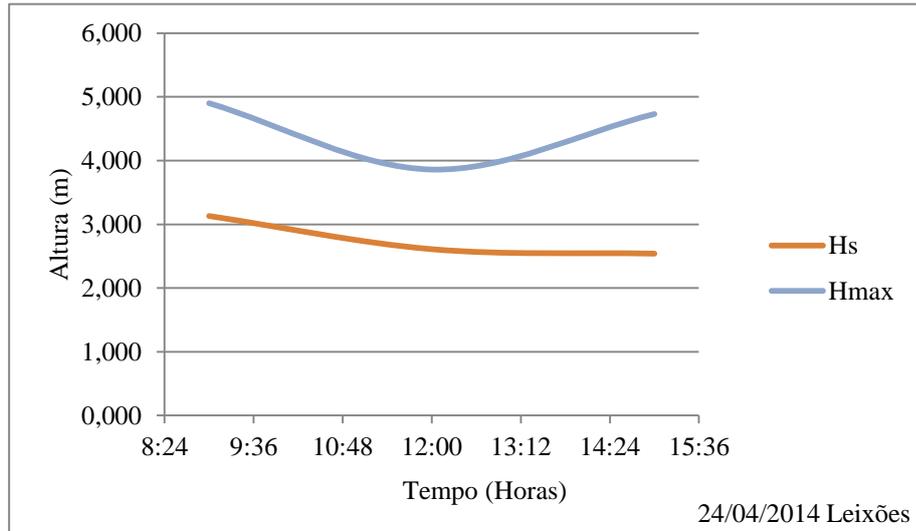


Figura 26 Registos do Instituto Hidrográfico boia de Leixões 24/04/2014, Altura significativa e Altura máxima de onda

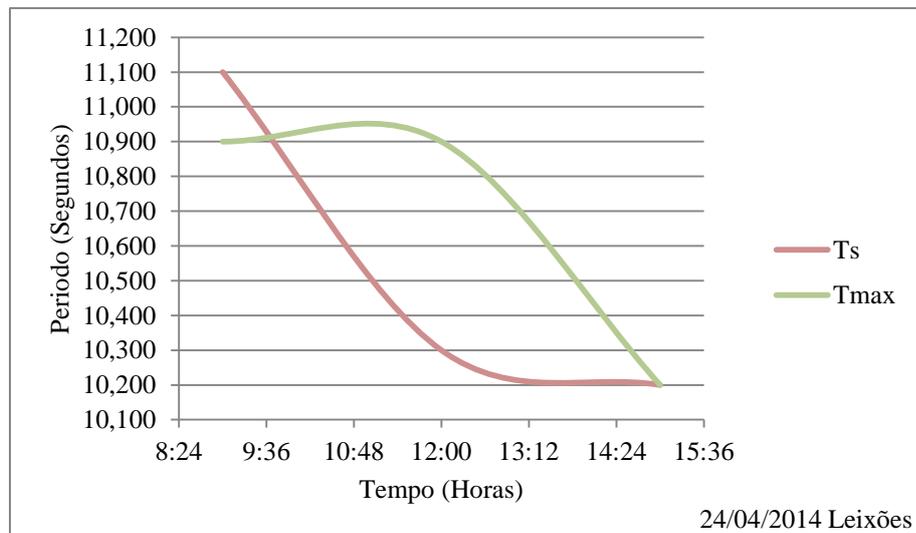


Figura 27 Registos do Instituto Hidrográfico boia de Leixões 24/04/2014, Período significativo Ts e Período de Pico Tmax

4.2.2 Campanha 2 - 28/04/2014

Nsa figura 28, figura 29 e figura 30, apresentam-se as séries temporais dos resultados relativos à altura significativa (H_s), altura máxima (H_{max}), período significativo (T_s) e período máximo (T_{max}), bem como a profundidade, obtidos pelo sensor de pressão, no dia 28/04/2014.

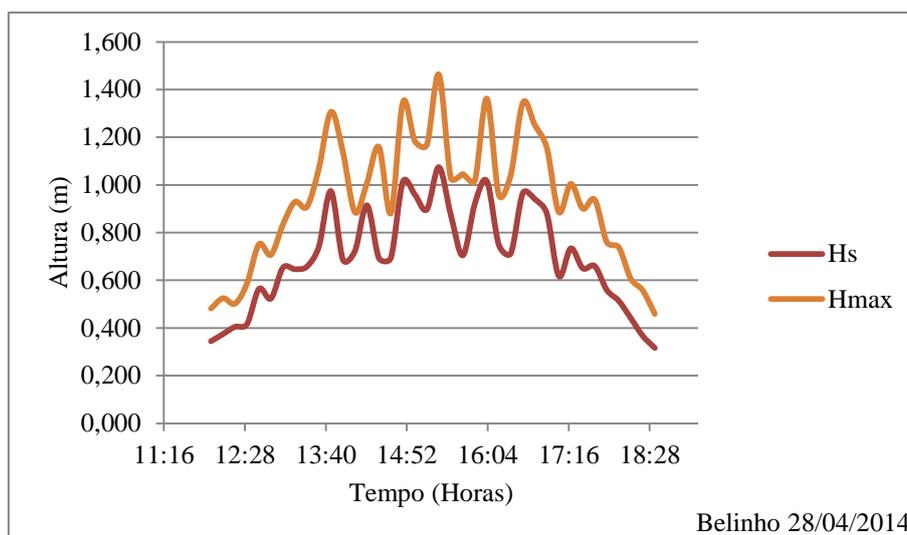


Figura 28 Resultados de medição, 28/04/2014, Altura significativa e Altura máxima de onda

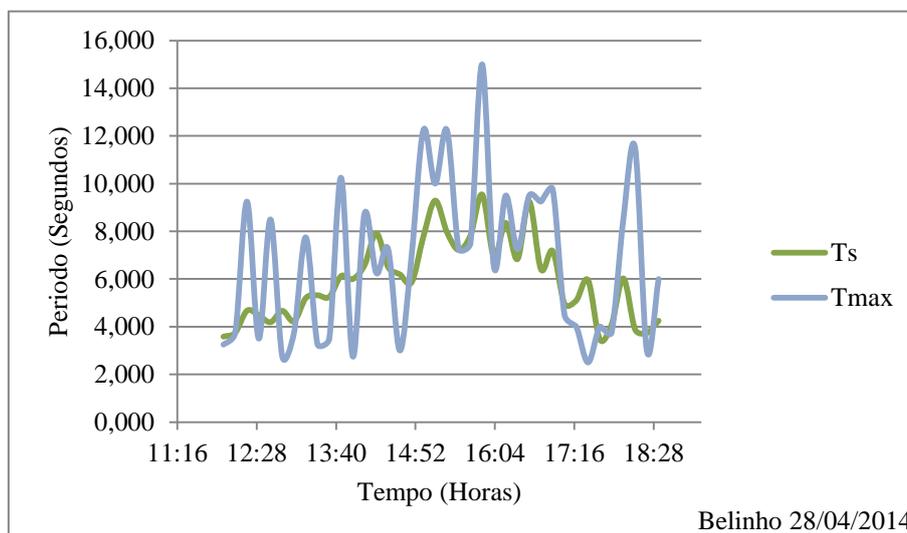


Figura 29 Resultados de medição, 28/04/2014, Período significativo T_s e Período de Pico T_{max}

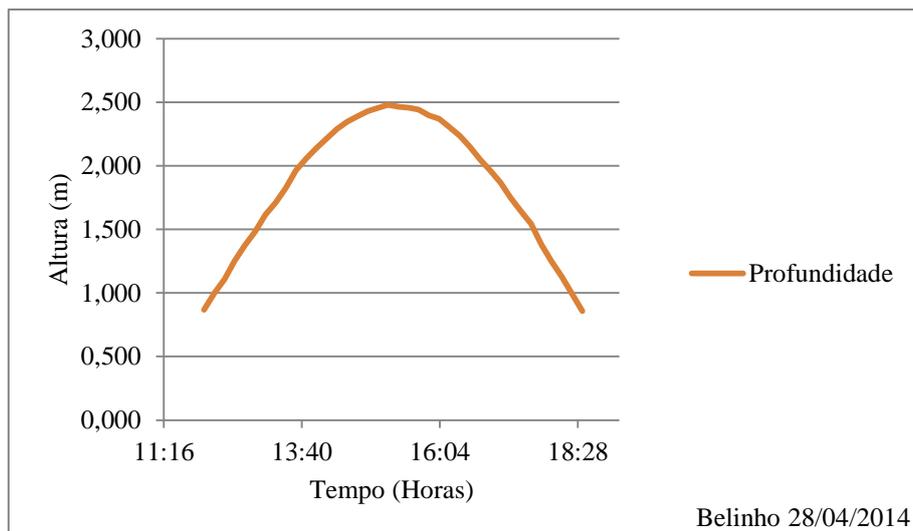


Figura 30 Profundidade registada pelo sensor TWR-2050, 28/04/2014

Nas figura 31 e figura 32, apresentam-se as séries temporais dos resultados relativos à altura significativa (H_s), altura máxima (H_{max}), período significativo (T_s) e período máximo (T_{max}), registados pela boia do porto de Leixões, cedidos pelo Instituto Hidrográfico, no dia 28/04/2014.

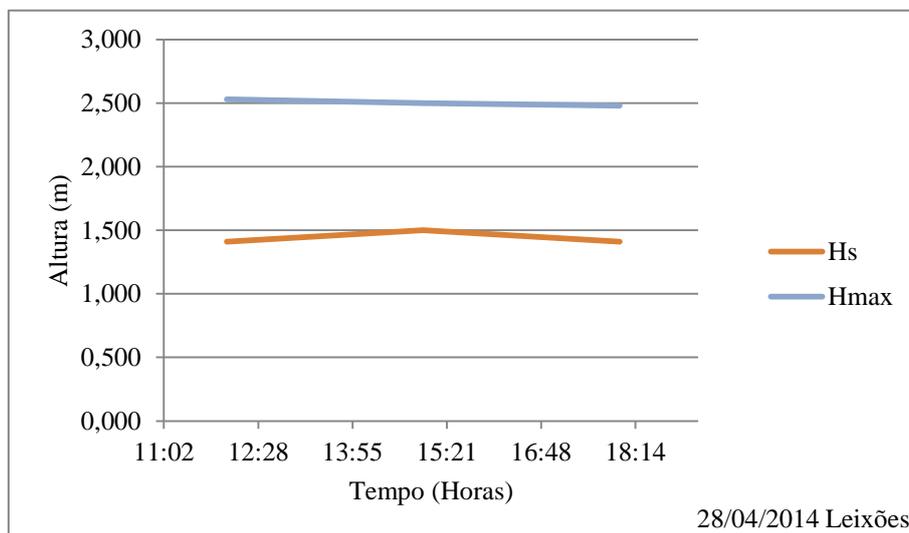


Figura 31 Registos do Instituto Hidrográfico boia de Leixões, 28/04/2014, Altura significativa e Altura máxima de onda

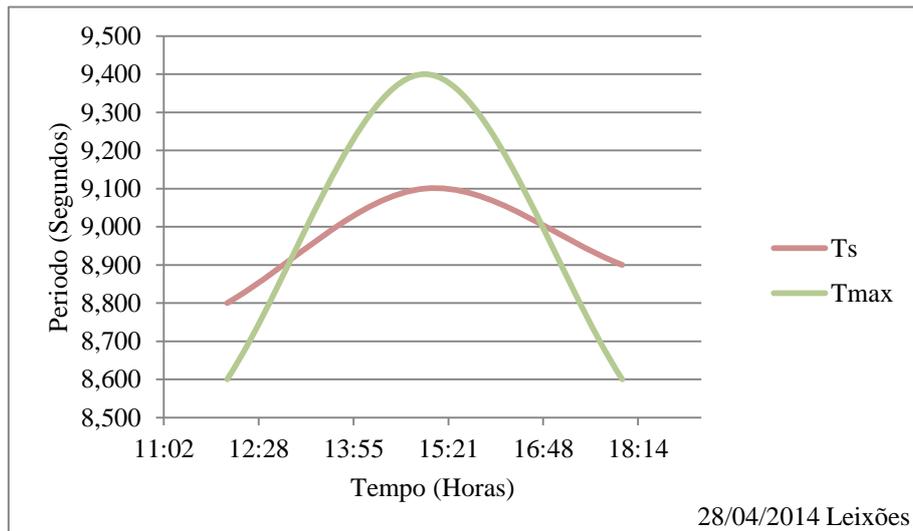


Figura 32 Registos do Instituto Hidrográfico boia de Leixões, 28/04/2014, Período significativo Ts e Período de Pico Tmax

4.2.3 Campanha 3 - 13/05/2014

Nas figura 33, figura 34 e figura 35, apresentam-se as séries temporais dos resultados relativos à altura significativa (H_s), altura máxima (H_{max}), período significativo (T_s) e período máximo (T_{max}), bem como a profundidade, obtidos pelo sensor de pressão, no dia 13/05/2014.

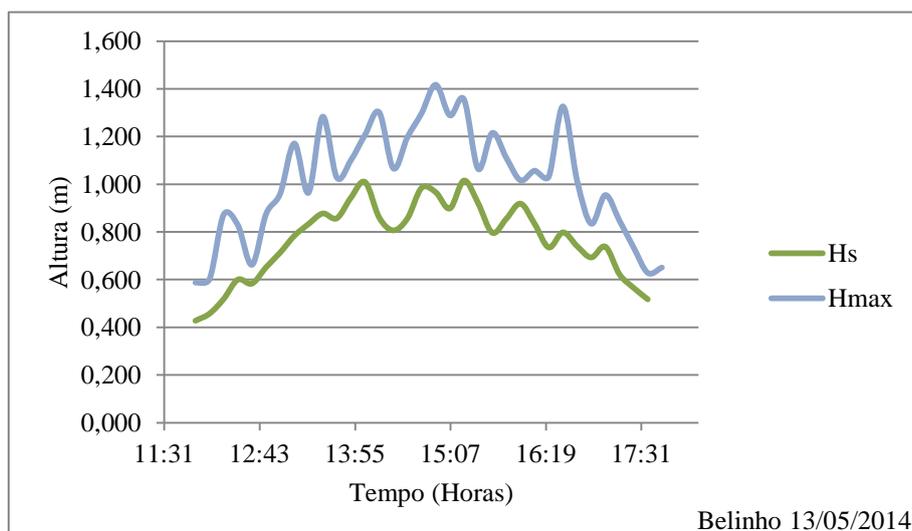


Figura 33 Resultados de medição 13/05/2014, Altura significativa e Altura máxima de onda

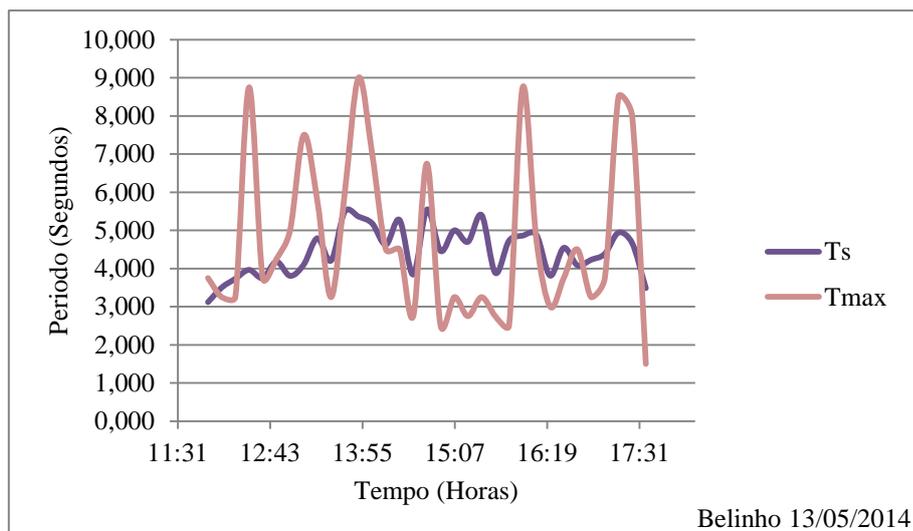


Figura 34 Resultados de medição 13/05/2014, Período significativo Ts e Período de Pico Tmax

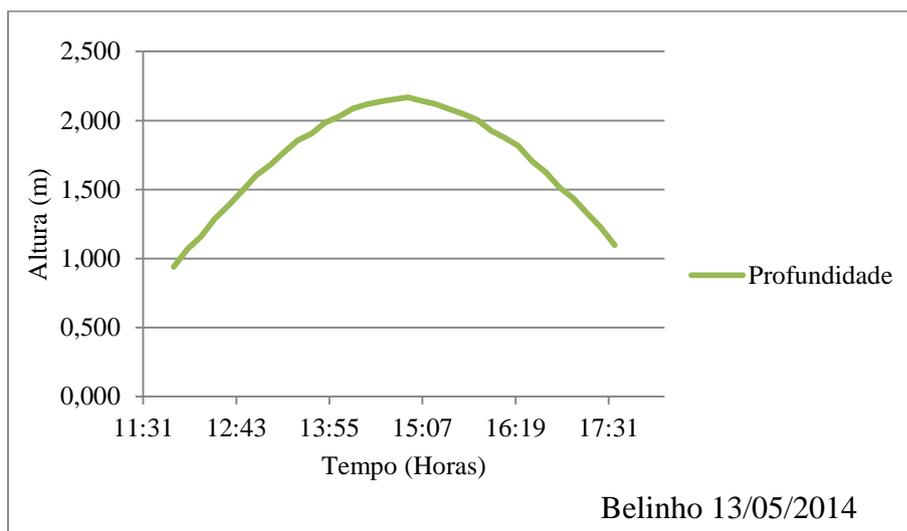


Figura 35 Profundidade registada pelo sensor TWR-2050 13/05/2014

Nas figura 36 e figura 37, apresentam-se as séries temporais dos resultados relativos à altura significativa (H_s), altura máxima (H_{max}), período significativo (T_s) e período máximo (T_{max}), registados pela boia do porto de Leixões, cedidos pelo Instituto Hidrográfico, no dia 13/05/2014.

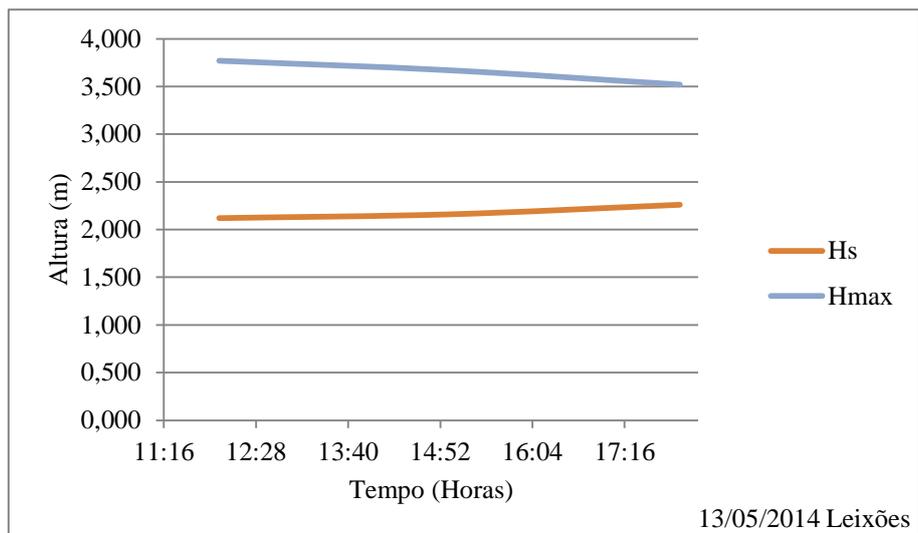


Figura 36 Registos do Instituto Hidrográfico boia de Leixões 13/05/2014, Altura significativa e Altura máxima de onda

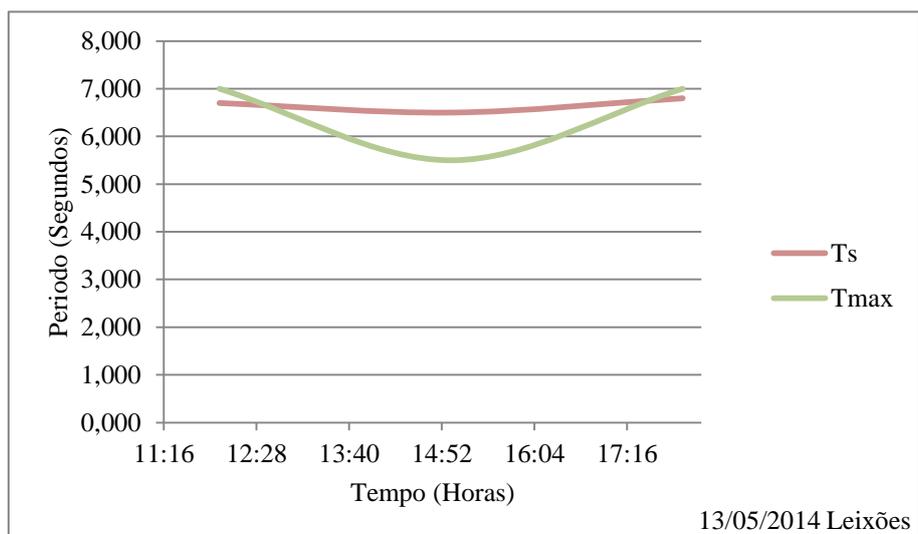


Figura 37 Registos do Instituto Hidrográfico boia de Leixões 13/05/2014, Período significativo Ts e Período de Pico Tmax

4.2.4 Campanha 4 -16/05/2014

Nas figura 38, figura 39 e figura 40, apresentam-se as séries temporais dos resultados relativos à altura significativa (H_s), altura máxima (H_{max}), período significativo (T_s) e período máximo (T_{max}), bem como a profundidade, obtidos pelo sensor de pressão, no dia 16/05/2014.

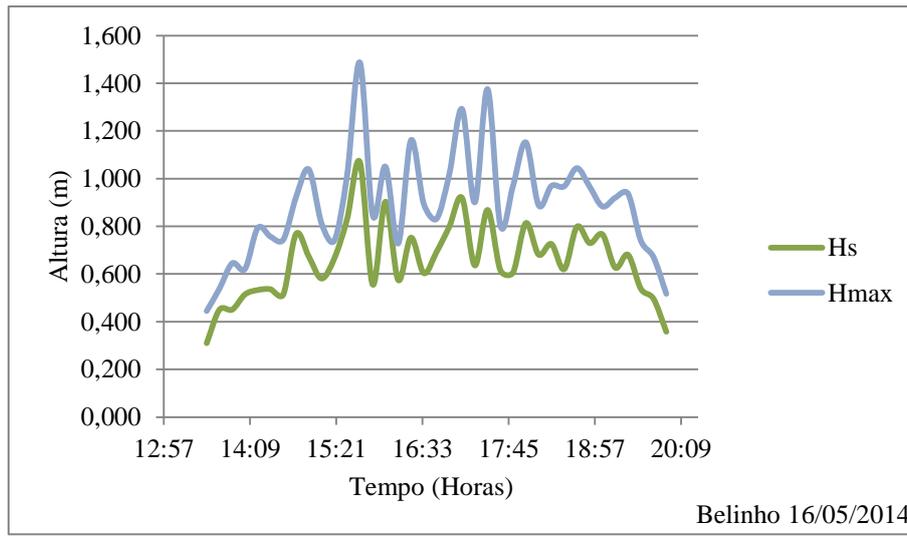


Figura 38 Resultados de medição 16/05/2014 a) Altura significativa e Altura máxima de onda

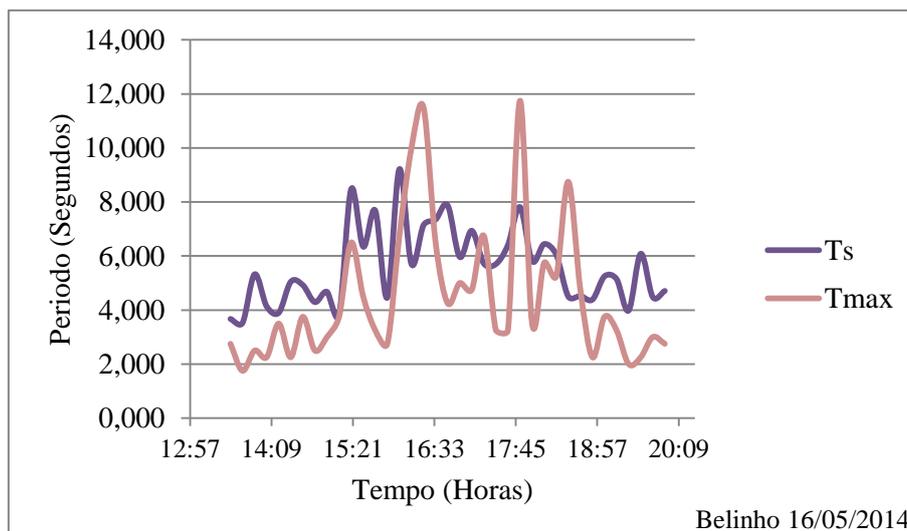


Figura 39 Resultados de medição 16/05/2014, Período significativo T_s e Período de Pico T_{max}

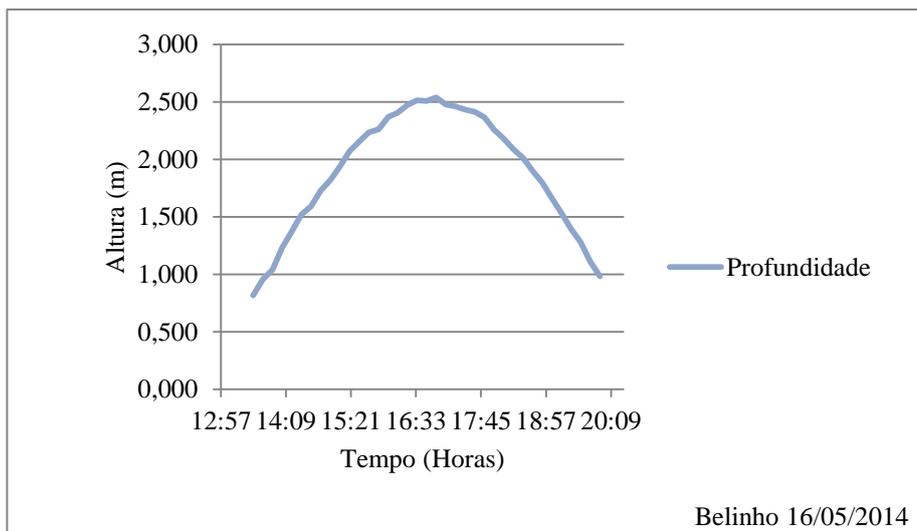


Figura 40 Profundidade registada pelo sensor TWR-2050 16/05/2014

Nas figura 41 e figura 42, apresentam-se as séries temporais dos resultados relativos à altura significativa (H_s), altura máxima (H_{max}), período significativo (T_s) e período máximo (T_{max}), registados pela boia do porto de Leixões, cedidos pelo Instituto Hidrográfico, no dia 16/05/2014.

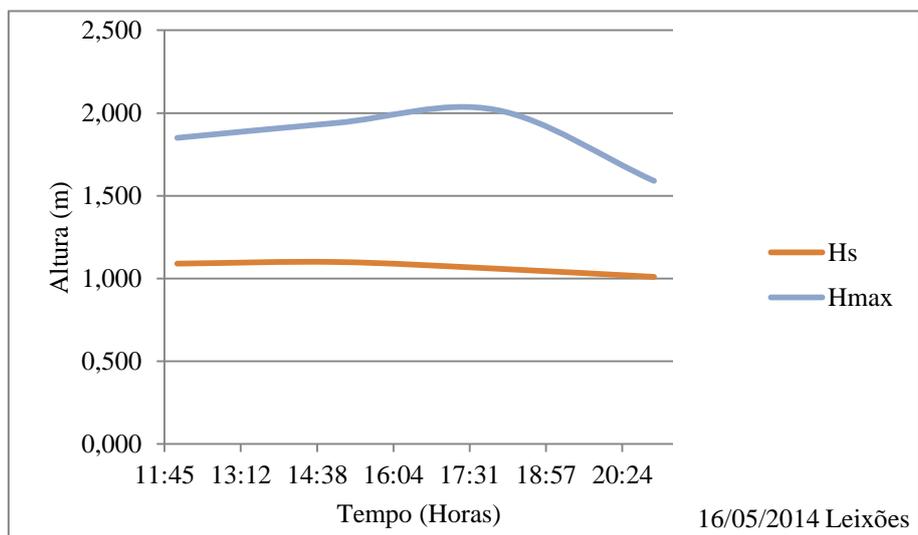


Figura 41 Registos do Instituto Hidrográfico boia de Leixões 16/05/2014 a)
Altura significativa e Altura máxima de onda

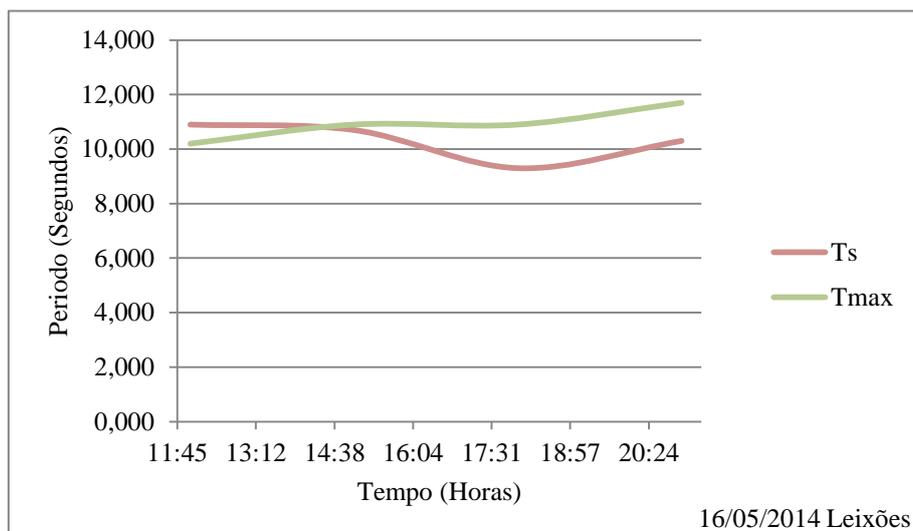


Figura 42 Registos do Instituto Hidrográfico boia de Leixões 16/05/2014 ,Período significativo Ts e Período de Pico Tmax

4.3 Processamento de resultados de medição

Nas figura 43 e figura 44, apresenta-se a comparação de valores médios entre os registos medidos pela boia de Leixões e o TWR-2050 relativos à altura significativa (Hs) e altura máxima (Hmax), para cada campanha.

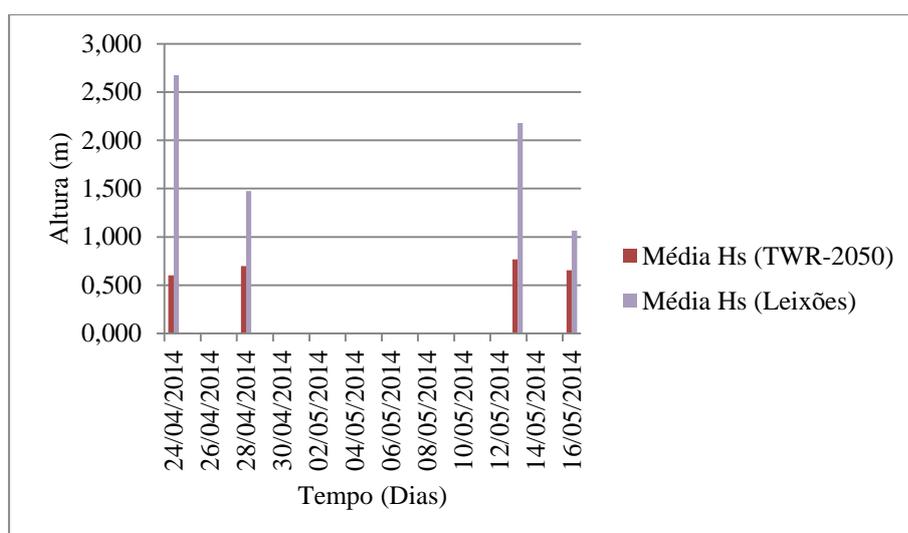


Figura 43 Comparação de valores médios referentes a boia de Leixões e o Sensor TWR-2050
Altura significativa

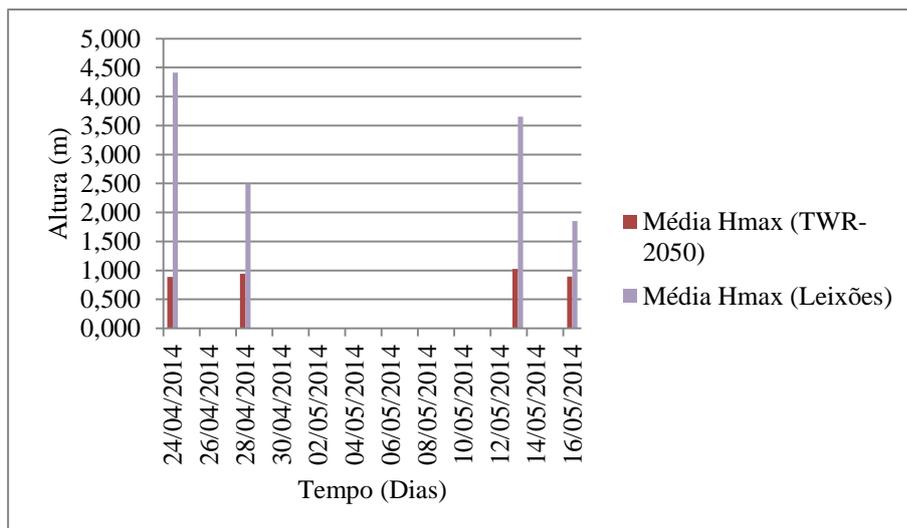


Figura 44 Comparação de valores médios referentes a boia de Leixões e o Sensor TWR-2050 Altura máxima

Nas figura 45 e figura 46, apresenta-se a comparação de valores médios entre os registos medidos pela boia de Leixões e o TWR-2050, relativos ao período significativo (Hs) e período máximo (Hmax), para cada campanha.

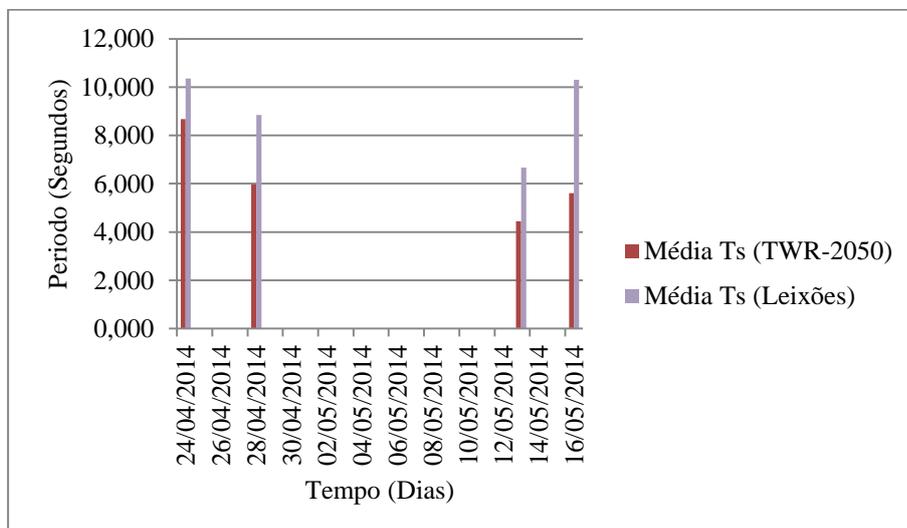


Figura 45 Comparação de valores médios referentes a boia de Leixões e o Sensor TWR-2050 Período significativo

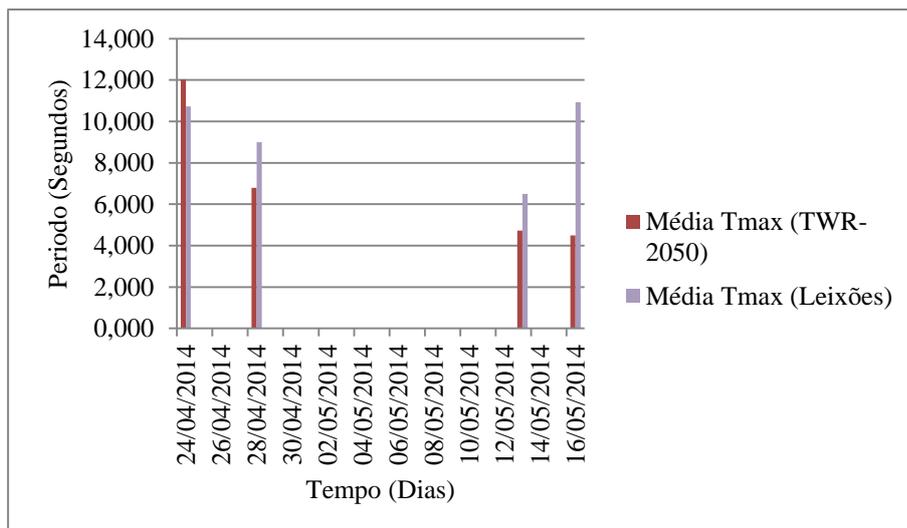


Figura 46 Comparação de valores médios referentes a boia de Leixões e o Sensor TWR-2050
Período máximo

Apresenta-se, na Figura 47, os valores da energia medidos pelo sensor de pressão TWR-2050 para as 4 campanhas realizadas.

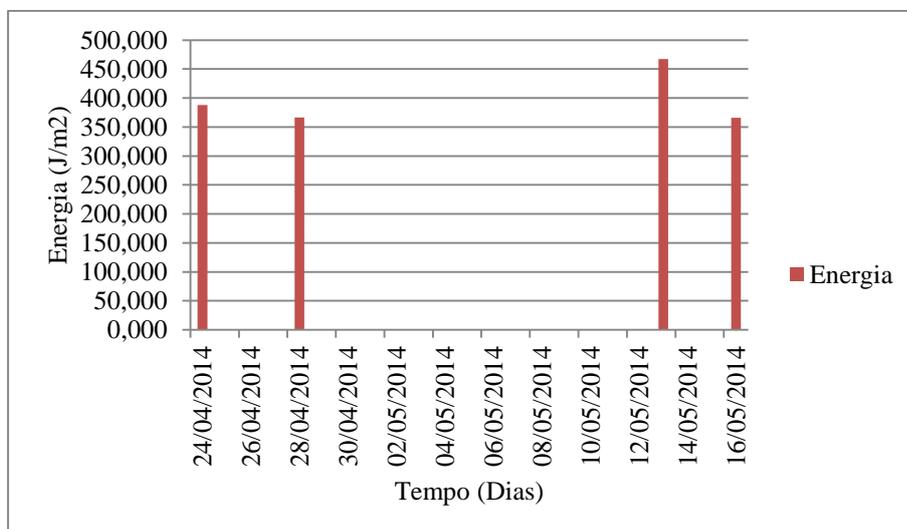


Figura 47 Valores da Energia referentes as diferentes Campanhas

4.3.1 Campanha 1 - 24/04/2014

Analisando numa primeira instância a primeira campanha (C1) e focando a altura significativa (Hs) e respetiva progressão ao longo do período de medição, conclui-se que os valores máximos estimados pelo sensor TWR-2050 ocorrem entre as 11 horas, e as 11:30 horas. Progredindo no tempo, podemos verificar um novo acréscimo na referida altura perto das 12:00 horas(Figura 48).

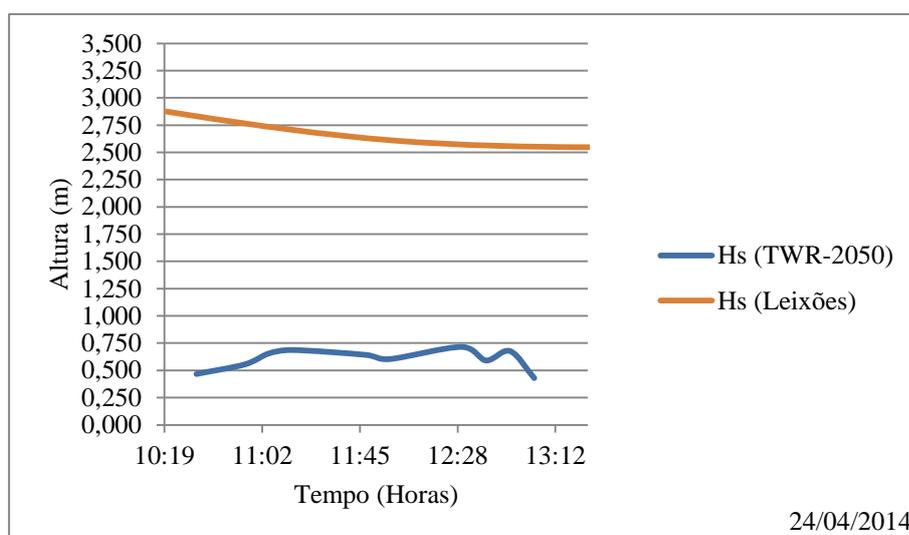


Figura 48 Diferenças de Altura significativa entre registos do TWR-2050 e dados da Bóia de Leixões ,24/04/2014

De referir também que a altura significativa máxima registada no período entre as 10:30 e 13:00 horas foi de 0,715 metros, sendo que esta varia aproximadamente entre 0.6 e 0.7 para um período de maré referente a preia-mar(figura 49)

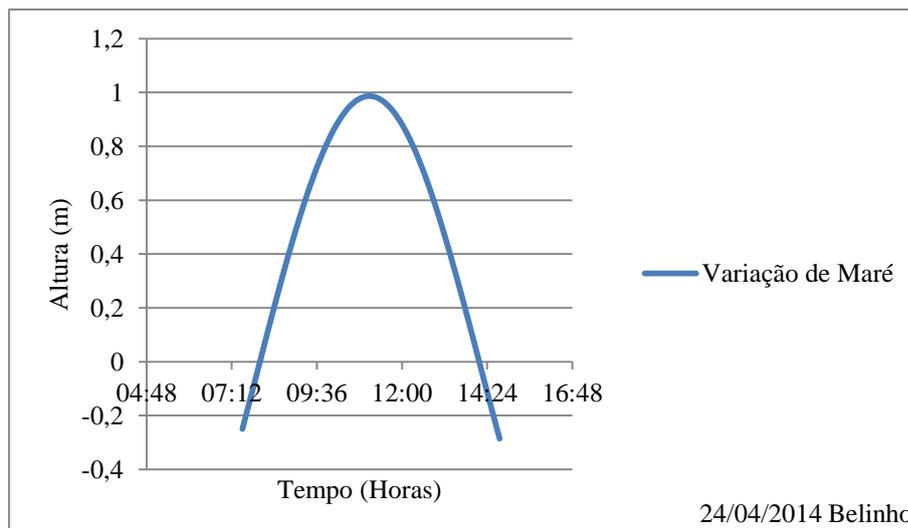


Figura 49 Variação da Maré dia 24/04/2014

A principal razão pela qual os valores registados sofrem grandes variações acima de 0.5 metros significa que é a partir dessa altura que o sensor de pressão se encontra totalmente submerso. Verifica-se um elevado desfasamento nos valores registados pela boia de Leixões (figura 48), pois o valor máximo da altura significativa é de aproximadamente 2.9 m, registado às 10:48 horas. É importante referir que os valores cedidos pelo Instituto Hidrográfico referentes a altura significativa e altura máxima, bem como os respectivos períodos têm um intervalo de 3 horas em cada dado de onda, apresentando o valor medido na hora indicada, no entanto uma possível justificação para o desfasamento apreciável entre os registos em Belinho e em Leixões será a existência de elevada agitação em Leixões não atingindo com tanta intensidade a praia de Belinho ou a batimetria do local onde se encontra a boia ser muito diferente em relação ao local do sensor de pressão usado na campanha.

Avaliando o período significativo registado pelo sensor, é possível constatar que foi aproximadamente 9 segundos a maior parte do tempo, sendo que o valor máximo é de 9.906 s e ocorre entre as 12:30 e as 13:00 horas. Nesta situação, pode-se afirmar que, em comparação com os valores registados em Leixões (figura 50), não existem grandes diferenças, visto que para o mesmo intervalo de tempo o valor registado é aproximadamente 10.1 segundos. Pode-se, assim, concluir que as ondas são maioritariamente geradas ao largo.

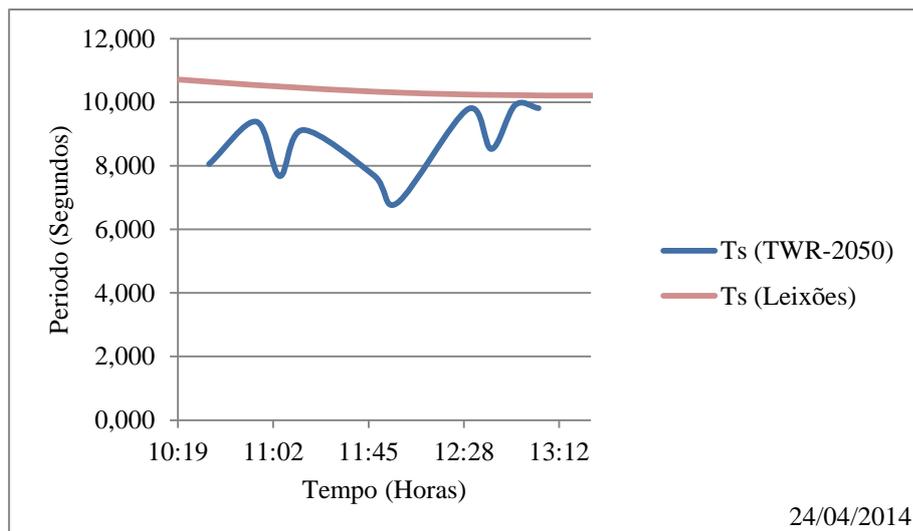


Figura 50 Diferenças do Período significativo entre registos do TWR-2050 e dados da Bóia de Leixões, 24/04/2014

Na Tabela 3, apresenta-se a síntese dos dados relativos à profundidade (Depth), altura significativa (Hs), altura máxima (Hmax), período significativo (Ts), período máximo (Tmax) e Energia, obtidos pelo sensor de pressão no dia 24/04/2014.

Tabela 3 Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis registados em Belinho 24/04/2014

24/04/2014	Profundidade	Hs	Ts	Hmax	Tmax	Energia
	m	m	Segundos	m	Segundos	J/m ²
Máximo	0,976	0,715	9,906	1,427	18,500	537,128
Mínimo	0,735	0,430	6,833	0,635	4,750	245,167
Média	0,894	0,602	8,681	0,886	12,025	387,922
Desvio Padrão	0,065	0,095	1,080	0,240	4,779	94,625

Na Tabela 4, apresenta-se a síntese dos dados relativos à altura significativa (Hs), altura máxima (Hmax), período significativo (Ts) e período máximo (Tmax) registados pela boia do porto de Leixões, cedidos pelo Instituto Hidrográfico, no dia 24/04/2014.

Tabela 4 Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis registadas pela boia do Porto de Leixões, 24/04/2014

24/04/2014 Instituto Hidrográfico				
	Hs(m)	Hmax(m)	Ts(s)	Tmax(s)
Máximo	3,130	4,900	11,100	10,900
Mínimo	2,420	3,860	9,800	10,200
Média	2,675	4,413	10,350	10,725
Desvio Padrão	0,313	0,486	0,545	0,350

Com vista a ter uma melhor perceção das diferenças entre os registos de Leixões e do sensor foi criada uma tabela(Tabela 4), com base em análises estatísticas dos elementos medidos, valores máximos e mínimos, média e desvio padrão.

O desvio padrão é uma medida de dispersão, que permite medir a variabilidade de um conjunto de valores, dá-nos uma indicação da maior ou menor variação em torno da média. Caso o valor do desvio padrão seja 0 significa que não existe variabilidade; assim sendo, quanto mais se aproximar de 0, mais uniforme será o conjunto de dados.

Desta forma, e calculando o desvio padrão da média da altura significativa por ambos os métodos, verifica-se que existe uma elevada variação, visto o resultado ser 1.803 m, o que se afasta em muito do valor preferencial 0.

4.3.2 Campanha 2 - 28/04/2014

Analisando agora a segunda campanha (C2) e seguindo o mesmo procedimento, primeiramente a análise da altura significativa (Hs) e respetiva progressão ao longo do período de medição, conclui-se que os valores máximos estimados pelo sensor TWR-2050 se verificam no período das 14:00 às 16:00 horas, sendo que a partir desse momento a altura diminui significativamente, o que representa a baixa-mar. (Figura 51)

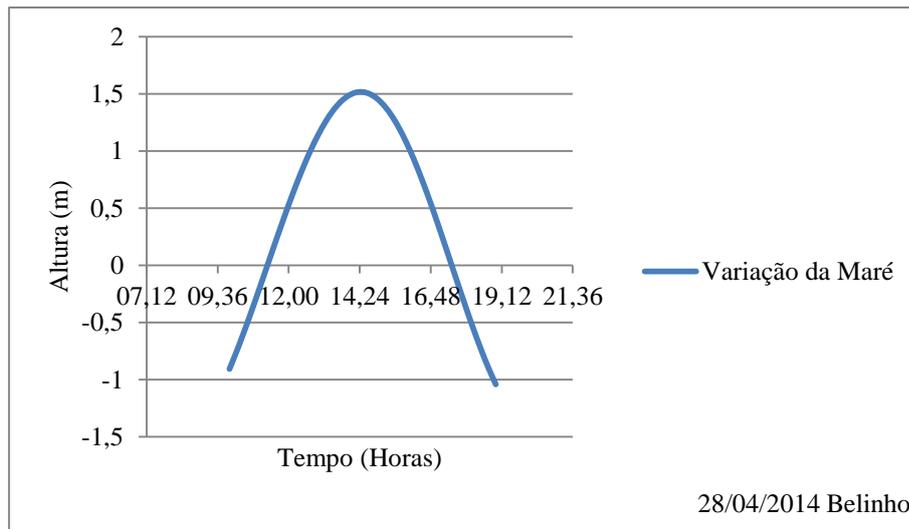


Figura 51 Variação da maré 28/04/2014

Na presente campanha, a altura significativa registou um valor máximo de 1.075m, sendo que, comparado com o valor registado em Leixões 1.58 m e tendo em conta as condições acima descritas. é possível afirmar que existe alguma concordância como pode ser comprovado na figura 52.

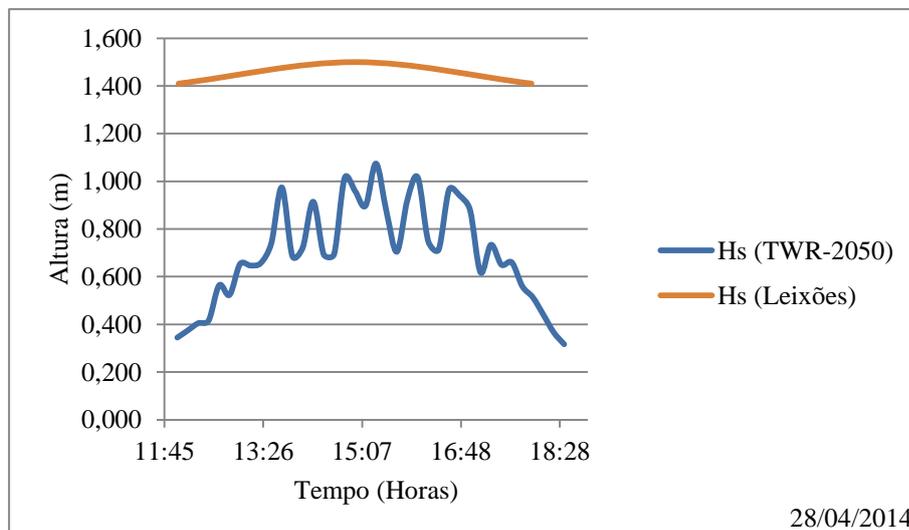


Figura 52 Diferenças de Altura significativa entre registos do TWR-2050 e dados da Bóia de Leixões, 28/04/2014

Quanto ao período significativo referente ao TWR-2050 e analisando o mesmo período usado para a altura significativa, verifica-se que regista valores entre 6 e 10 segundos, podendo ser considerado aproximadamente 9 segundos, constatando-se que os valores registados pela boia são idênticos, como se apresenta na figura 53.

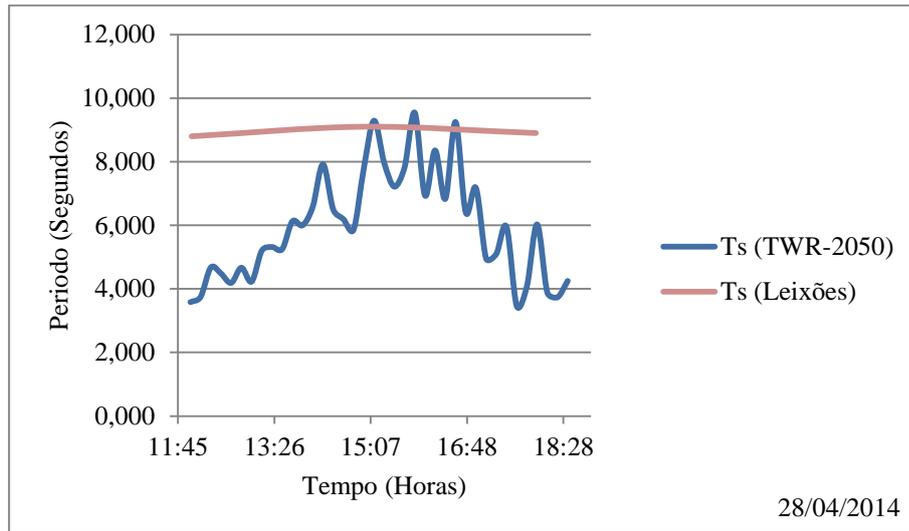


Figura 53 Diferenças do Período significativo entre registos do TWR-2050 e dados da boia de Leixões, 28/04/2014

Conclui-se também que a altura máxima varia entre aproximadamente 1 e 1.4 metros, tendo um valor máximo de 1.46 metros.. Já os valores registados em Leixões possuem um acréscimo significativo considerando um valor uniforme aproximadamente 2.5 metros(figura 54).

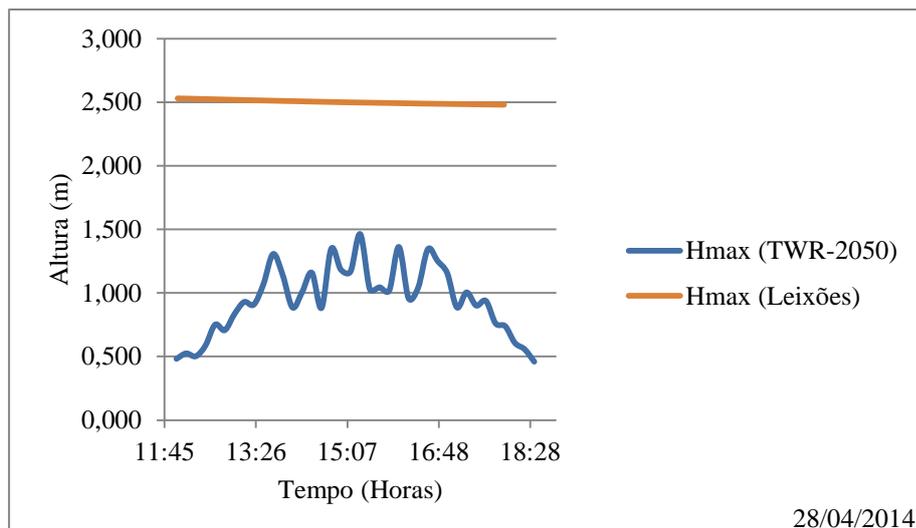


Figura 54 Diferenças de Altura máxima entre registos do TWR-2050 e dados da Bóia de Leixões, 28/04/2014

Na Tabela 5, apresenta-se a síntese dos dados relativos à altura significativa (H_s), altura máxima (H_{max}), período significativo (T_s) e período máximo (T_{max}), obtidos pelo sensor de pressão, no dia 28/04/2014.

Tabela 5 Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis registados em Belinho 28/04/2014

28/04/2014	Profundidade	H_s	T_s	H_{max}	T_{max}	Energia
	m	m	Segundos	m	Segundos	J/m ²
Máximo	2,479	1,075	9,542	1,463	15,000	757,752
Mínimo	0,549	0,316	3,462	0,459	2,500	84,194
Média	1,238	0,700	5,962	0,945	6,796	366,372
Desvio Padrão	0,735	0,212	1,711	0,270	3,267	175,202

Na Tabela 6, apresenta-se a síntese dos dados relativos à altura significativa (H_s), altura máxima (H_{max}), período significativo (T_s) e período máximo (T_{max}), registados pela boia do porto de Leixões, cedidos pelo Instituto Hidrográfico, no dia 28/04/2014.

Tabela 6 Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis registadas pela boia do Porto de Leixões 28/04/2014

28/04/2014 Instituto Hidrográfico				
	Hs(m)	Hmax(m)	Ts (s)	Tmax (s)
Máximo	1,580	2,530	9,100	9,400
Mínimo	1,410	2,480	8,600	8,600
Média	1,475	2,498	8,850	9,000
Desvio Padrão	0,082	0,024	0,208	0,462

Com o desvio padrão calculado e apresentado na secção de resultados, tabela 5, conclui-se que para o dia 28/04/2014 não se verificou grande agitação, pois o desvio padrão relativo a altura significativa é de 0,212, querendo isto dizer que os resultados das alturas foram muito parecidos ao longo do período de registos.

4.3.3 Campanha 3 - 13/05/2014

Repetindo o processo de análise para a terceira campanha (C3), é previsível que o período de máxima agitação se situa entre as 13:00 e as 16:00 horas, verificando-se que se encontra no período de preia-mar (figura 55) e que o valor médio da altura significativa nesse período é aproximadamente 0.9 metros, o que difere muito dos 2m registados em Leixões (figura 56).

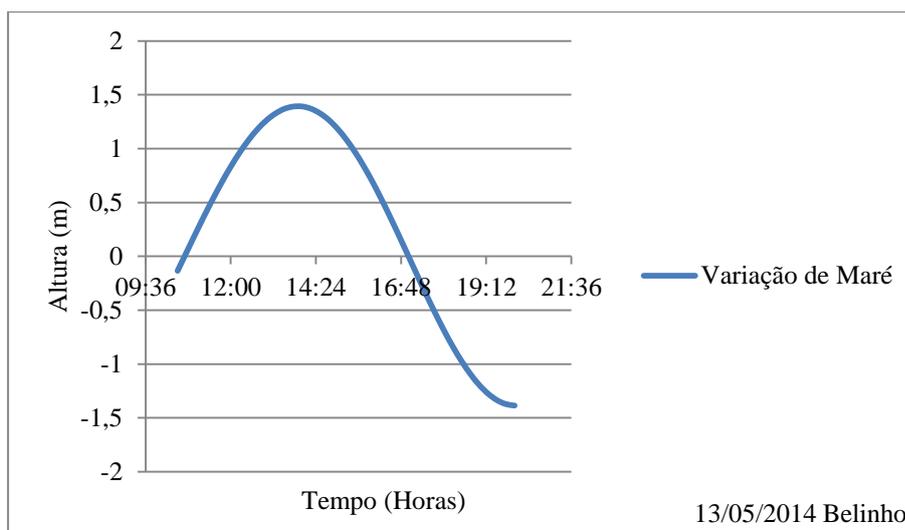


Figura 55 Variação da maré 13/05/2014

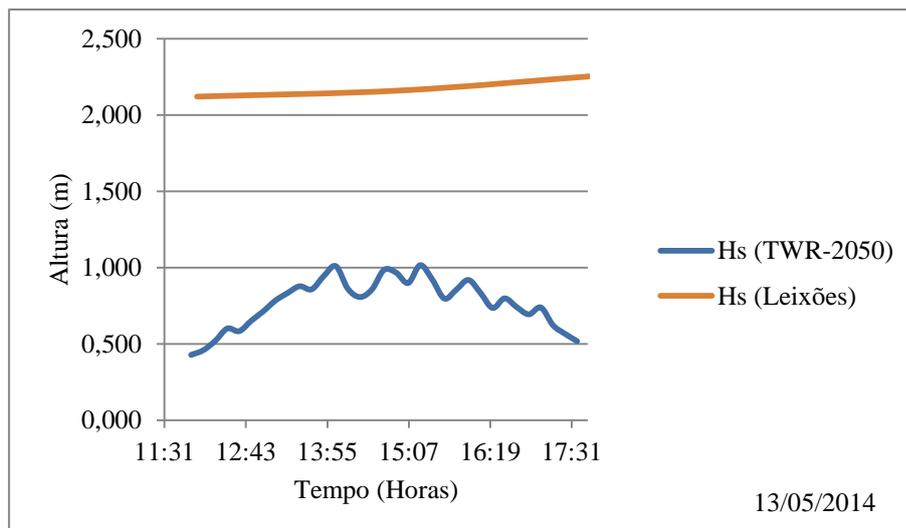


Figura 56 Diferenças de Altura significativa entre registos do TWR-2050 e dados da Bóia de Leixões, 13/05/2014

Importante referir que as ondas são formadas ao largo visto os valores médios da profundidade serem sempre superiores a 0.5 metros.

Avaliando o período significativo pode-se constatar que, no intervalo referido acima, o valor de T_s é de aproximadamente 5 segundos e o registado pelo instituto hidrográfico de 6 segundos, o que leva a considerar que, em comparação de valores, o período foi semelhante, tal como comprova a figura 57.

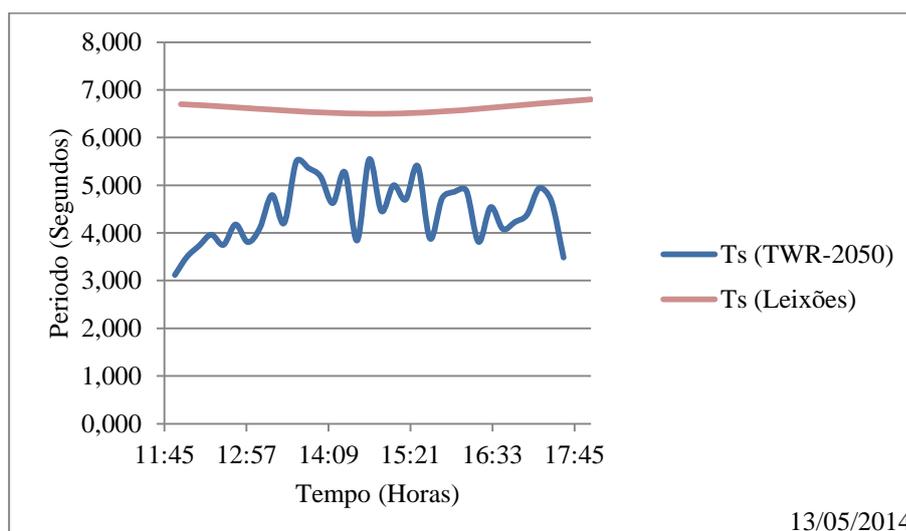


Figura 57 Diferenças do Período significativo entre registos do TWR-2050 e dados da Bóia de Leixões, 13/05/2014

A altura máxima varia entre aproximadamente 1 e 1.4 metros, tendo um valor máximo de 1.417 metros. Os valores registados em Leixões situam-se entre 4 e 3 metros, sendo maioritariamente de 3 metros, possuindo, assim, um acréscimo significativo(figura 58).

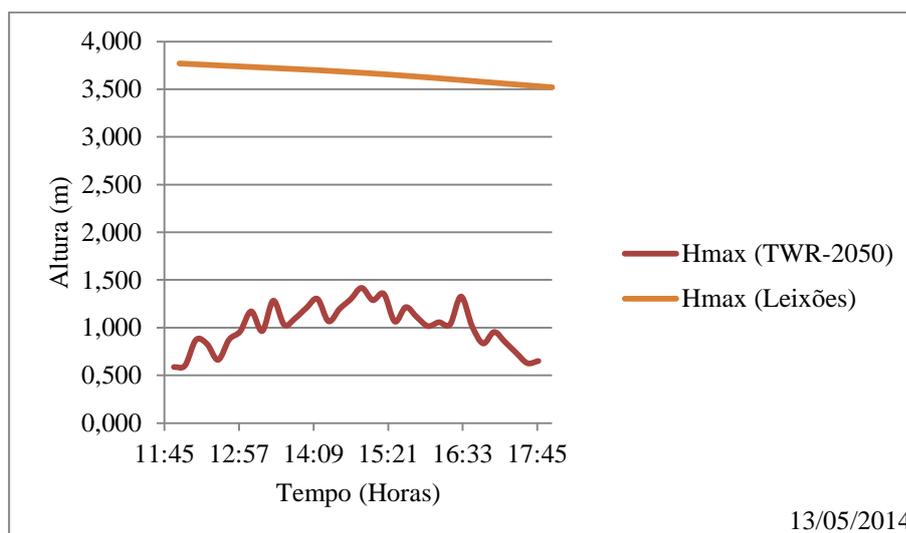


Figura 58 Diferenças de Altura máxima entre registos do TWR-2050 e dados da Bóia de Leixões, 13/05/2014

Na Tabela 7, apresenta-se a síntese dos dados relativos à altura significativa (Hs), altura máxima (Hmax), período significativo (Ts) e período máximo (Tmax), obtidos pelo sensor de pressão, no dia 13/05/2014.

Tabela 7 Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis registados em Belinho 13/05/2014

13/05/2014	Profundidade	Hs	Ts	Hmax	Tmax	Energia
	m	m	Segundos	m	Segundos	J/m ²
Máximo	2,169	1,016	5,546	1,417	9,000	823,706
Mínimo	0,940	0,428	3,118	0,588	1,500	146,995
Média	1,720	0,769	4,441	1,027	4,720	467,099
Desvio Padrão	0,373	0,162	0,644	0,230	2,148	178,381

Na Tabela 8, apresenta-se a síntese dos dados relativos à altura significativa (Hs), altura máxima (Hmax), período significativo (Ts) e período máximo (Tmax), registados pela boia do porto de Leixões, cedidos pelo Instituto Hidrográfico, no dia 13/05/2014.

Tabela 8 Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis registadas pela boia do Porto de Leixões 13/05/2014

13/05/2014 Instituto Hidrográfico				
	Hs(m)	Hmax(m)	Ts (s)	Tmax (s)
Máximo	2,260	3,770	6,800	7,000
Mínimo	2,120	3,520	6,500	5,500
Média	2,180	3,653	6,667	6,500
Desvio Padrão	0,072	0,126	0,153	0,866

4.3.4 Campanha 4 - 16/05/2014

Por fim, avaliando a última campanha (C4), mais propriamente o período das 15:00 às 19:00 horas, verifica-se que a altura significativa máxima se verificou às 15:00 horas com um valor de 1.069 metros; a partir desse instante, as ondas variaram entre 0.6 e 0.9 metros. Na presente situação, os valores coincidem com os dados cedidos pelo Instituto Hidrográfico, sendo que o valor da altura significativa máxima é igualmente de 1.1 metro e, ao longo do período em questão, a variação também é semelhante, como se pode visualizar na figura 59.

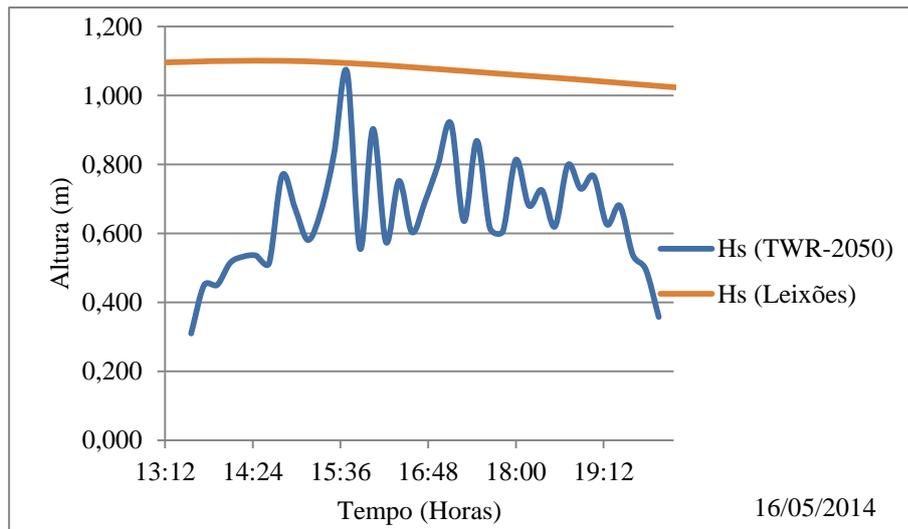


Figura 59 Diferenças de Altura significativa entre registos do TWR-2050 e dados da Bóia de Leixões, 16/05/2014

Em relação ao período significativo, e usando o mesmo espaço temporal acima descrito, referente à preia-mar ilustrada na figura 60, nota-se uma variação entre os 6 e os 8 segundos nos registos do TWR-2050; já em Leixões, os valores apresentam uma variação entre 9 e 10 segundos, figura 61. Posto isto, é possível afirmar que em ambas as medições existiu concordância entre os valores quer na altura significativa quer no período significativo.

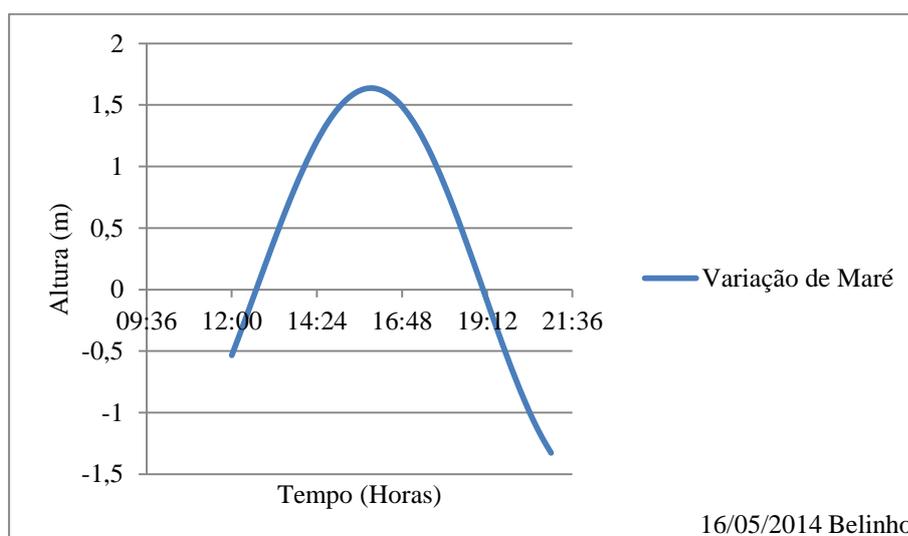


Figura 60 Variação da maré 16/05/2014

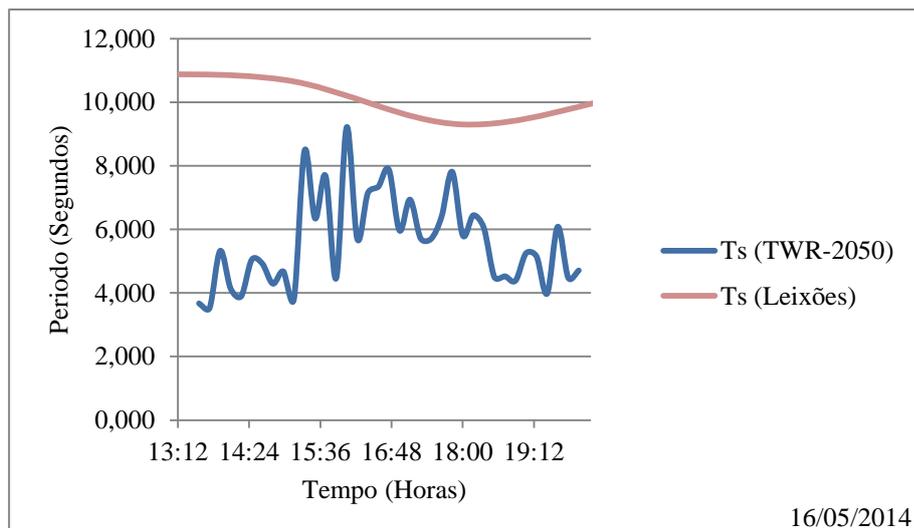


Figura 61 Diferenças do Período significativo entre registos do TWR-2050 e dados da boía de Leixões, 16/05/2014

Na Tabela 9, apresenta-se a síntese dos dados relativos à altura significativa (Hs), altura máxima (Hmax), período significativo (Ts) e período máximo (Tmax), obtidos pelo sensor de pressão no dia 16/05/2014.

Tabela 9 Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis registados em Belinho 16/05/2014

16/05/2014	Profundidade	Hs	Ts	Hmax	Tmax	Energia
	m	m	Segundos	m	Segundos	J/m ²
Máximo	2,537	1,069	9,214	1,487	11,750	857,542
Mínimo	0,817	0,310	3,523	0,445	1,750	91,996
Média	1,889	0,656	5,606	0,894	4,486	365,866
Desvio Padrão	0,529	0,160	1,446	0,224	2,562	159,283

Na Tabela 10, apresenta-se a síntese dos dados relativos à altura significativa (Hs), altura máxima (Hmax), período significativo (Ts) e período máximo (Tmax) registados.

Tabela 10 Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis registadas pela boia do Porto de Leixões 16/05/2014

16/05/2014 Instituto Hidrográfico				
	Hs(m)	Hmax(m)	Ts (s)	Tmax (s)
Máximo	1,100	2,020	10,900	11,700
Mínimo	1,010	1,590	9,300	10,200
Média	1,065	1,850	10,300	10,925
Desvio Padrão	0,040	0,187	0,712	0,613

4.4 Modelo Coulwave

Neste subcapítulo, serão apresentados os resultados das simulações executadas para os diferentes dias referidos anteriormente. Os resultados foram obtidos após a criação de um espectro de agitação em que os fatores introduzidos foram a altura significativa e o período significativo para o período de preia-mar, registados na boia de Leixões e cedidos pelo Instituto Hidrográfico.

Assim sendo, foram realizadas simulações de 600 segundos e os resultados serão apresentados para o período de preia-mar, pois é neste período que a sonda apresenta a maior profundidade e a agitação propaga-se sobre a mesma antes da rebentação.

4.4.1 Resultados Simulação 1 - 24/04/2014 (Preia-mar 11:00 min)

Nas figura 62, figura 63, figura 64, apresentam-se os resultados referentes ao período de preia-mar do dia 24/04/2014, sendo eles a variação da superfície livre na localização do sensor, a variação da superfície livre distanciado 100 metros da costa e o espectro de agitação.

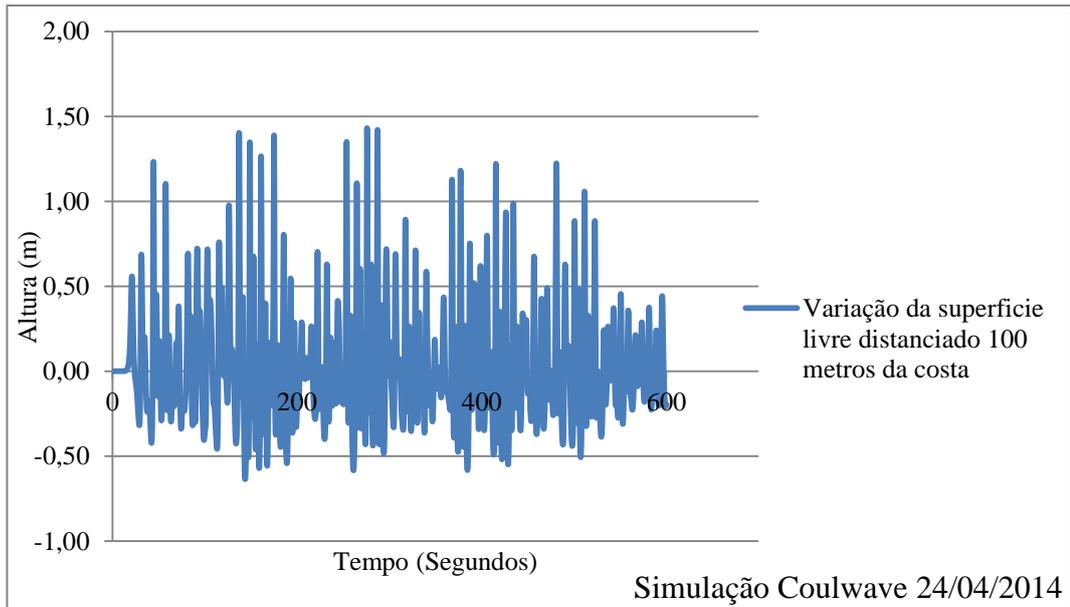


Figura 62 Variação da superfície livre referente ao dia 24/04/2014

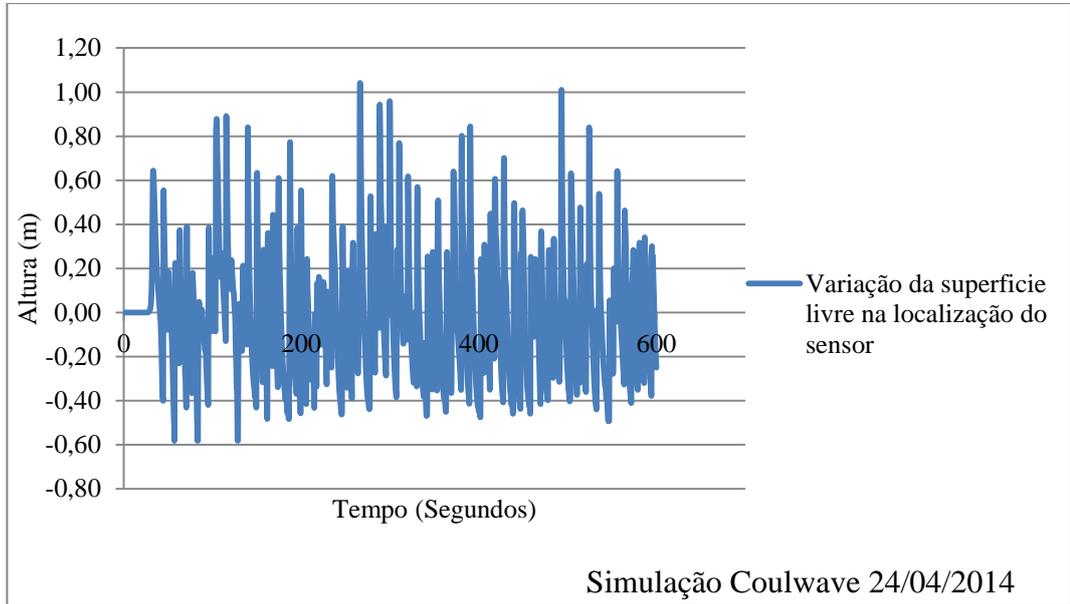


Figura 63 Variação da superfície livre na localização do sensor referente ao dia 24/04/2014

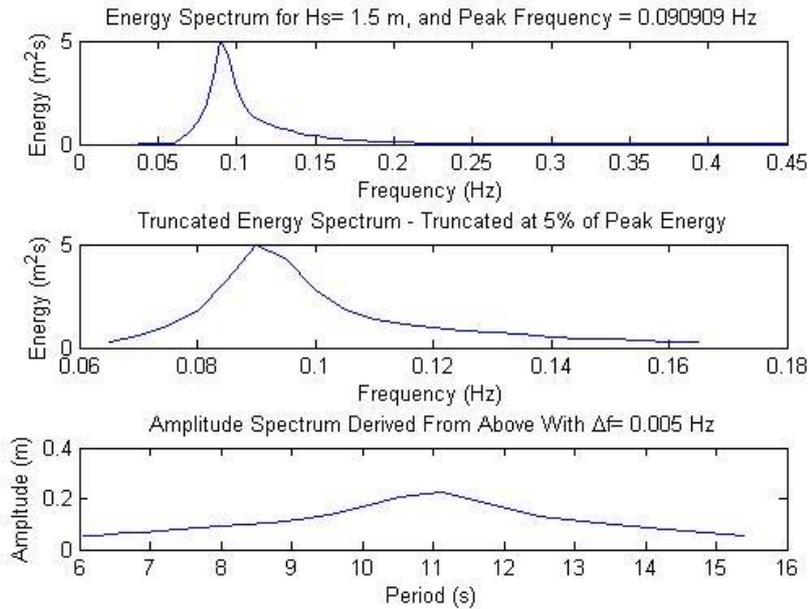


Figura 64 Espectro de agitação originado por dados do dia 24/04/2014

Para esta simulação, os dados introduzidos no Coullwave foram a altura significativa máxima de 3 metros e o período significativo máximo de 11 segundos, registados na preia-mar cedidos pelo Instituto Hidrográfico.

Fazendo uma análise da variação da superfície livre para o período referido acima, é possível constatar que, para a localização do sensor(figura 63), a altura sofreu uma ligeira variação entre -0.5 e 0.8 metros, com a presença de picos, o que representa a aproximação da zona de rebentação. Seguindo para 100 metros da costa, verifica-se que a superfície livre não teve grandes variações, situando-se os valores entre -0.5 e 1.4 metros.

Analisando agora o espectro de agitação, está visível que o espectro é largo, formando ondas irregulares e possui um pico; o período situa-se entre 6 e 15 segundos, de onde se conclui que as ondas são formadas ao largo, e que o período se aproxima dos registos efetuados pelo sensor.

4.4.2 Resultados Simulação 2 - 28/04/2014 (Preia-mar 14:25 min)

Para a segunda simulação, referente ao dia 28/04/2014 e respetiva preia-mar, foi efetuado o mesmo procedimento usado no subcapítulo anterior. Assim, apresentam-se os resultados obtidos das variações de superfície livre e espectro de agitação nas figura 65, figura 66, figura 67.

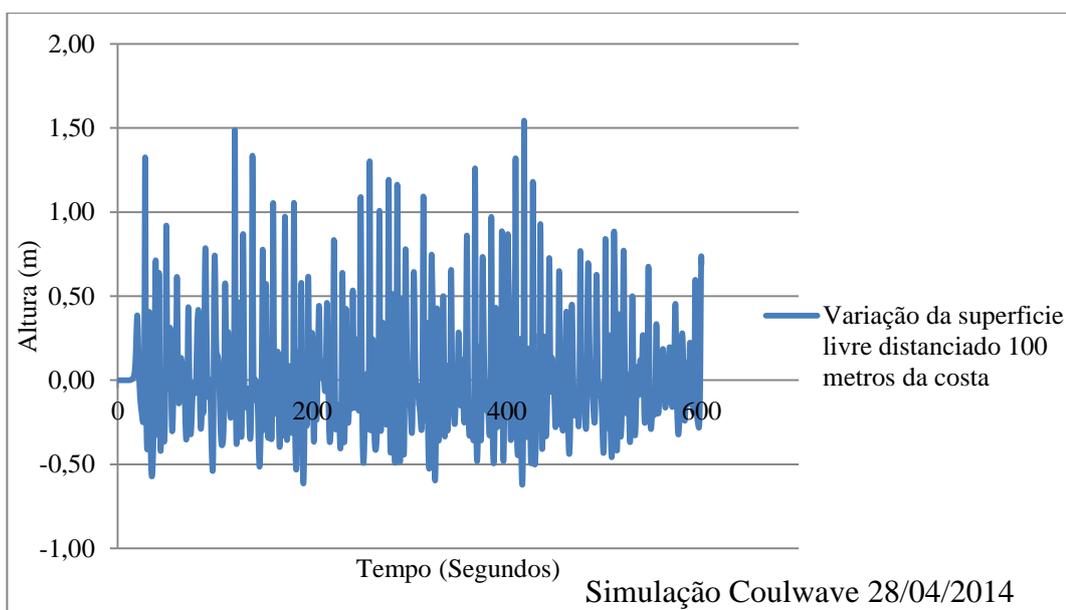


Figura 65 Variação da superfície livre referente ao dia 28/04/2014

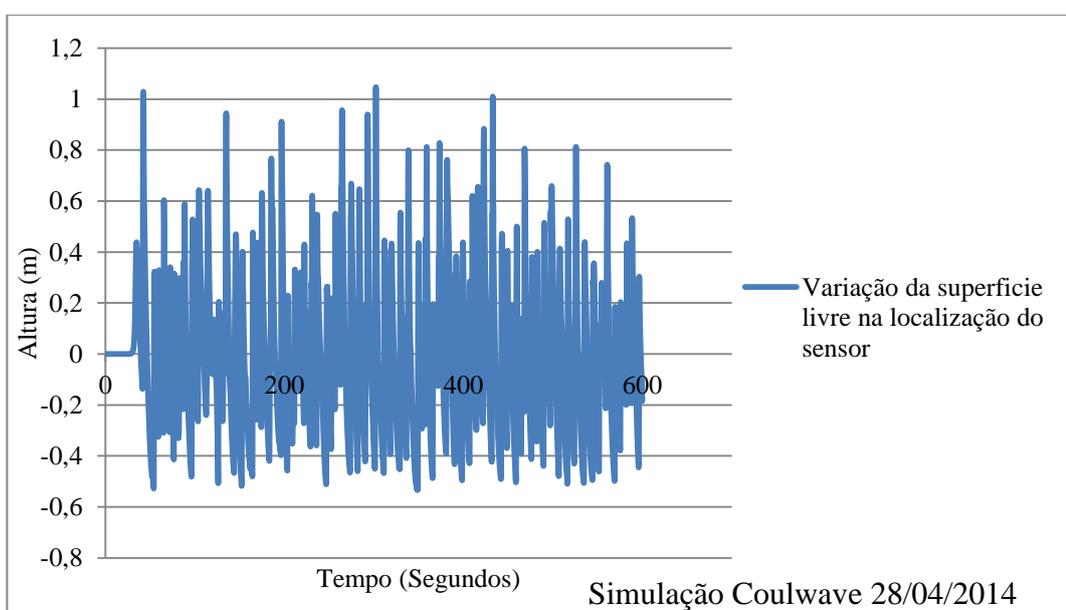


Figura 66 Variação da superfície livre na localização do sensor referente ao dia 28/04/2014

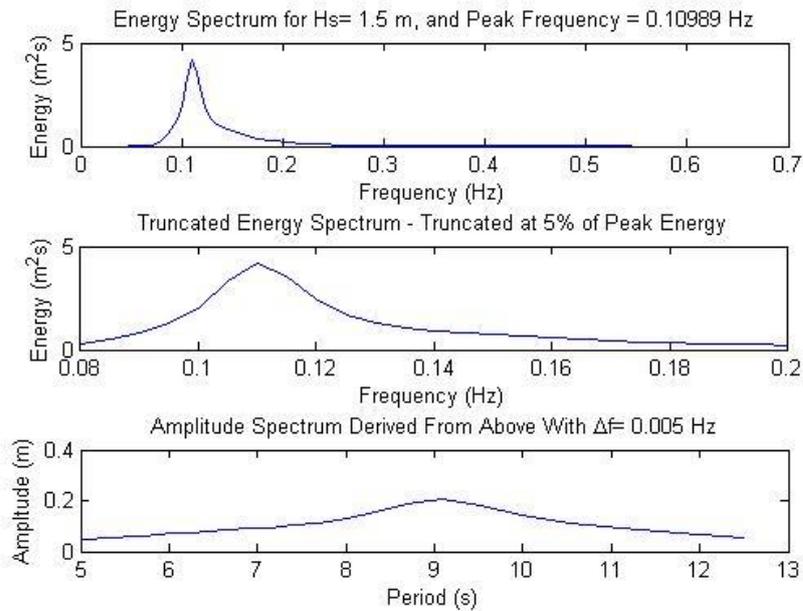


Figura 67 Espectro de agitação originado por dados do dia 28/04/2014

Na presente simulação, os valores iniciais para criação do espectro de agitação foram 1.5 metros de altura significativa e 9.1 segundos referente ao período significativo. Analisando a variação da superfície livre referente ao pico de maré 14:25min, verifica-se que houve variação significativa na superfície livre para os 600 segundos de simulação, como se pode constatar na figura 66, variando entre -0.4 o 1.1 metros aproximadamente. Quanto à variação da superfície livre distanciado 100 m relativamente da costa, é possível afirmar que não existiu grande variação; no entanto, o presente caso foi mais intenso do que o caso analisado para o dia 24/04/2014.

O espectro de agitação tem uma forma idêntica comparado com o analisado anteriormente, o seu valor de pico de energia também é semelhante; no entanto, o período encontra-se no intervalo 5 a 12 segundos. No presente caso, também se pode afirmar que os dados do sensor se assemelham aos resultados calculados pelo software.

4.4.3 Resultados Simulação 3 - 13/05/2014 (Preia-mar 13:45 min)

Os resultados para o presente caso apresentam-se nas figura 68, figura 69, figura 70, respeitando à variação da superfície livre distanciado 100 metros da costa, variação da superfície livre na localização do sensor e espectro de energia, respetivamente.

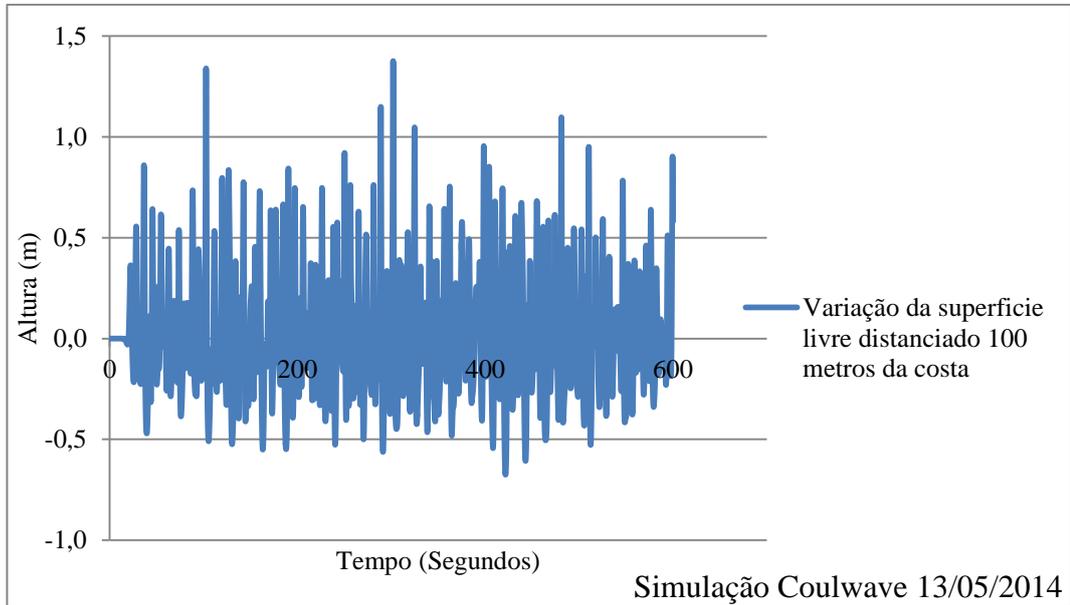


Figura 68 Variação da superfície livre referente ao dia 13/05/2014

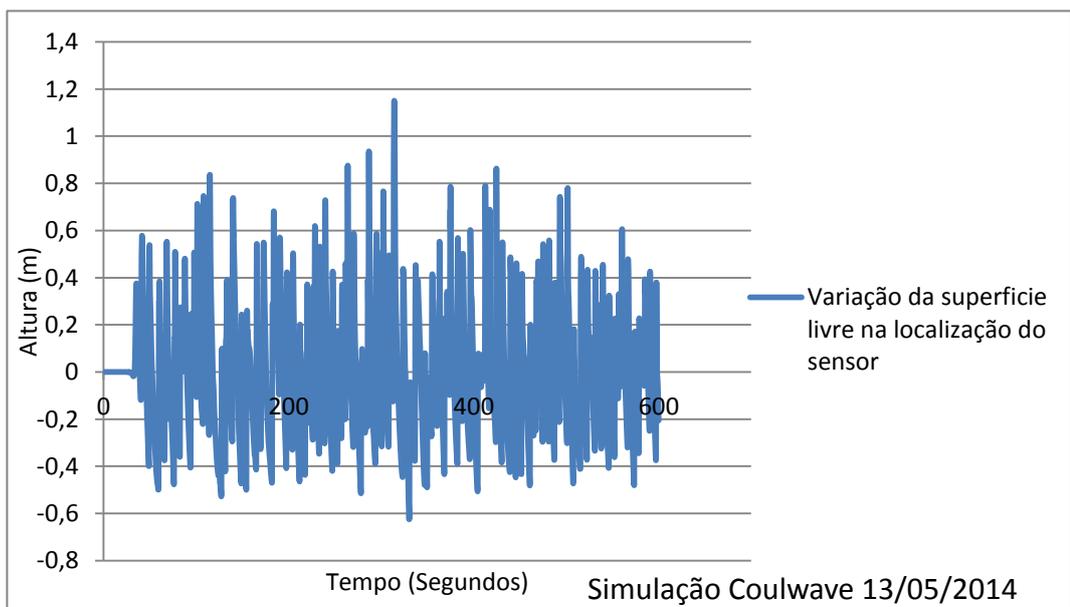


Figura 69 Variação da superfície livre na localização do sensor referente ao dia 13/05/2014

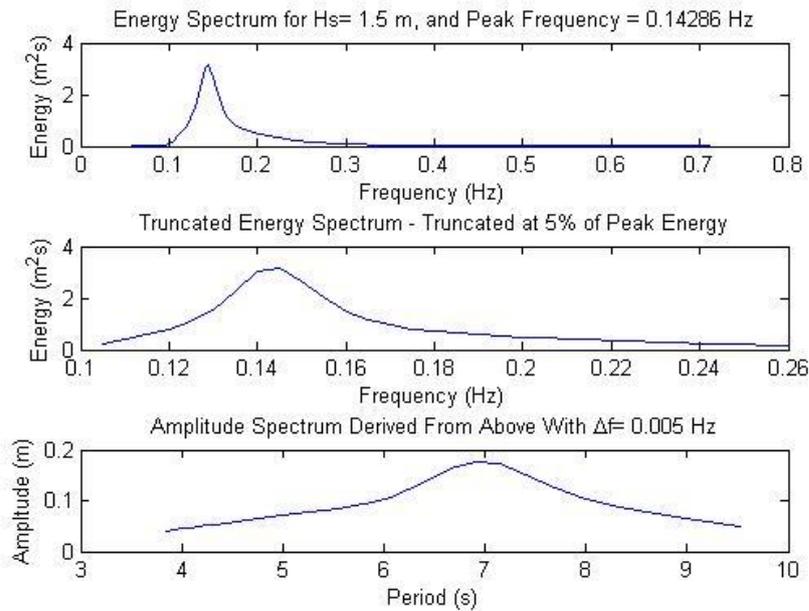


Figura 70 Espectro de agitação originado por dados do dia 13/05/2014

Para esta simulação, os dados introduzidos no Coulawave foram a altura significativa máxima de 2.2 metros e o período significativo máximo de 7 segundos, registados na preia-mar, segundo dados cedidos pelo Instituto Hidrográfico.

Procedendo do mesmo modo, a análise dos resultados aqui apresentados, verifica-se que a variação da superfície livre para o período referido acima segue do mesmo modo os resultados já avaliados anteriormente. No entanto, deve-se ter em conta a particularidade de que existe maior número de ondas por unidade de tempo. Quanto à localização do sensor, a altura não sofreu variação significativa, tendo um máximo de 1.19 metros, verificando-se que os valores se situam maioritariamente entre -0.4 e 0.6 metros.

Analisando o espectro de agitação, o período situa-se entre 4 e 9.5 segundos, de onde se conclui que as ondas são formadas ao largo; o valor da energia é menor que os resultados anteriores, mas enquadra-se nos registos do sensor TWR-2050.

4.4.4 Resultados Simulação 4 - 16/05/2014 (Preia-mar 16:15 min)

Nas figura 71, figura 72, figura 73, apresentam-se os resultados referentes ao período de preia-mar do dia 16/05/2014, sendo eles a variação da superfície livre na localização do sensor, a variação da superfície livre distanciado 100 metros da costa e o espectro de agitação.

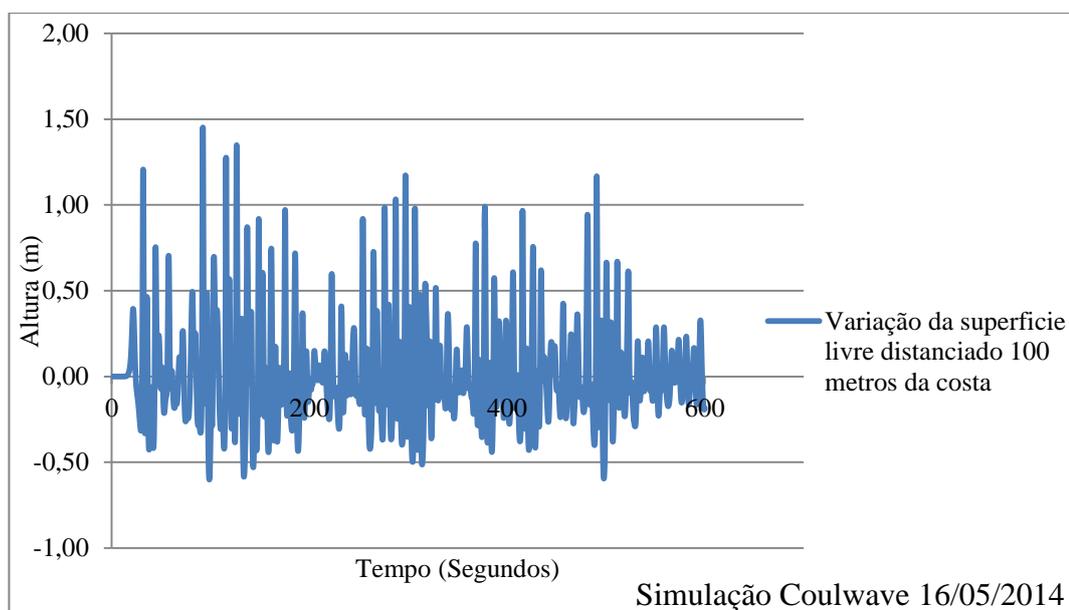


Figura 71 Variação da superfície livre referente ao dia 16/05/2014

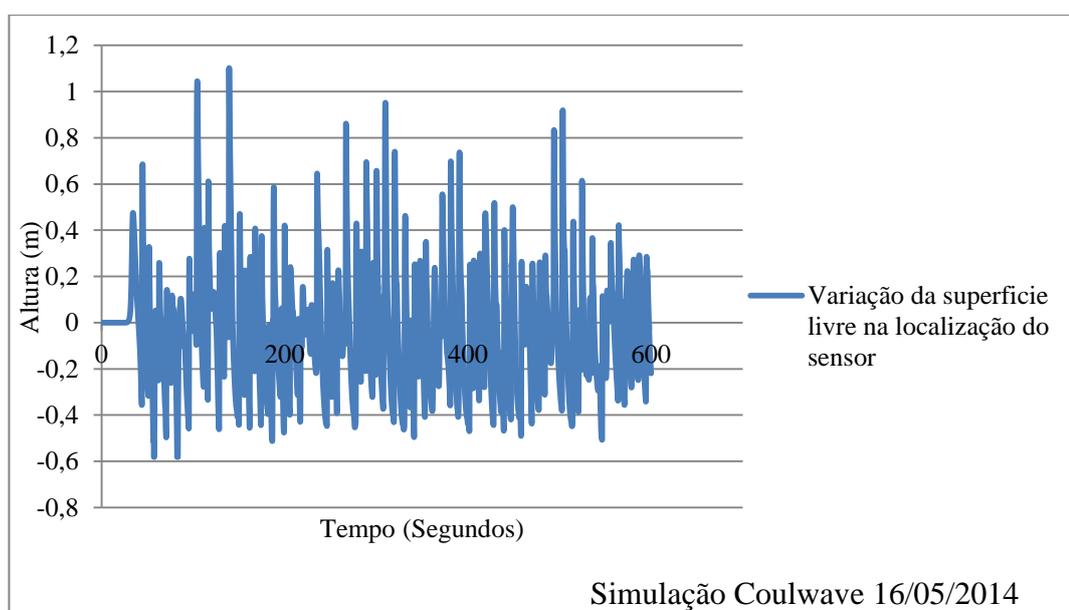


Figura 72 Variação da superfície livre na localização do sensor referente ao dia 16/05/2014

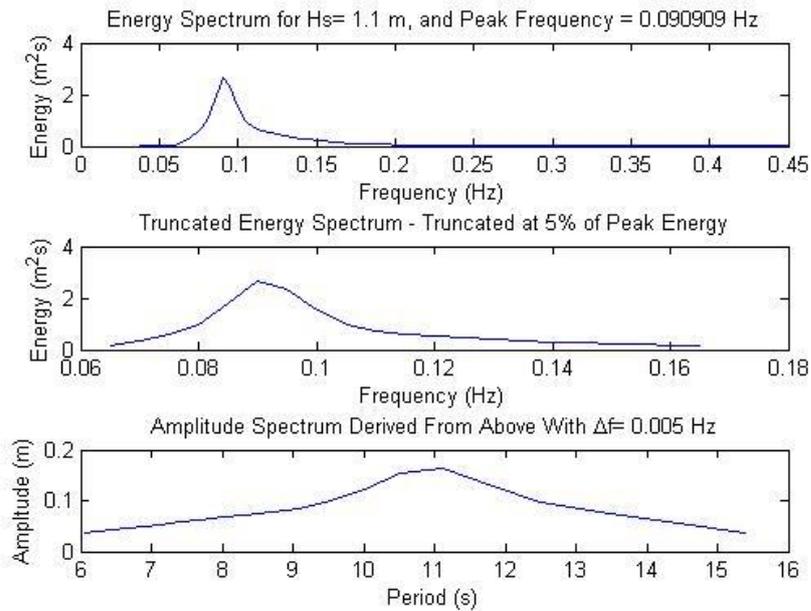


Figura 73 Espectro de agitação originado por dados do dia 16/05/2014

No presente caso, alterou-se a altura significativa máxima para 1.1 metros e o período significativo máximo 11 segundos, pelo motivo já referido anteriormente

Fazendo uma análise da variação da superfície livre para o dia 16/05/2014, é possível constatar que para a localização do sensor, a altura manteve-se entre -0.4 e 0.5 metros, no entanto sendo ultrapassados esses valores em alguns momentos da simulação. Já na figura 71 existiu grande variação, situando-se os valores entre -0.5 e 1 metro.

Analisando agora o espectro de agitação, é perceptível que o espectro é largo e que o período se situa entre 6 e 15.5, o que não é muito coerente com o sensor que, por sua vez, regista um período entre 4 e 9 segundos.

5 Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

A presente dissertação teve como principal objetivo a caracterização de estados de agitação marítima em diferentes campanhas na praia de Belinho, situada em Esposende.

Foi efetuado trabalho de campo para colocar o sensor de pressão, de modo a executar as várias campanhas de medição com vista a obter os dados de agitação marítima. Estes dados permitiram uma análise e comparação com outros registos para os diversos dias de campanha e, assim, obter uma estimativa da agitação nos dias em questão.

Relativamente a metodologia de trabalho de campo nomeadamente a instalação do sensor de pressão TWR-2050 considera-se fiável a sua execução, bem como de fácil manuseamento na colocação do sensor na estrutura. Assim pode-se afirmar que os materiais usados, a superfície escolhida e a programação do sensor funcionaram em pleno.

Para a caracterização da agitação marítima, foram utilizados os dados gentilmente cedidos pelo Instituto Hidrográfico, referentes aos registos da boia do porto de Leixões e do software Coulwave.

Foram utilizados igualmente os registos do sensor de pressão TWR-2050, devidamente instalado na praia. O equipamento usado nas campanhas funcionou em perfeitas condições, sendo bem fixo na estrutura de suporte. O estado de agitação que, à primeira vista, se verificava na praia em estudo era calmo, o que foi comprovado através do sensor.

Após a análise feita no capítulo anterior, é possível afirmar que a altura significativa, altura máxima e período significativo foram aproximadamente da mesma ordem de grandeza, sendo assim classificado o estado de agitação da praia de Belinho como calmo.

Através das sondagens efetuadas *in situ*, conclui-se que o sensor TWR-2050 tem um óptimo funcionamento e é de fácil manuseamento, sendo possível representar a realidade com os seus registos. A forma de recolha dos dados obtida no software Ruskin

é bastante acessível e tem a particularidade de criar os gráficos com as variáveis que o utilizador pretenda.

O pico da energia máxima produzida situa-se entre os 6 e os 10 segundos, o que significa que estas ondas registadas são formadas no oceano, podendo também ser consideradas profundas, visto que em todos os casos a profundidade é maior que 0.5 metros.

Avaliadas as campanhas em relação a maré dos períodos em análise constata-se que Belinho apresenta-se como micro maré, pois as alturas máximas nunca ultrapassam 2 metros.

Como sugestões para trabalhos futuros sugiro a realização de um número superior de medições (Campanhas), com vista a obter mais registos e conseqüentemente uma análise com menor erro, a criação de um modelo 2D com introdução da direção da vaga pois a referida direção tem grande influencia quer no transporte de sedimentos bem como na agitação num determinado local, seria importante também a utilização de mais que um sensor de pressão e por fim tendo em conta que a batimetria influencia a geração de ondas, caso se possua a batimetria de um local a analisar é de extrema importância que aquando das simulações seja introduzida no modelo Coulawave.

6 Bibliografia

Alvo, P. H. d. S., 2008. *Aplicação do modelo numérico COBRAS-UC ao estudo da interacção de ondas com protecções marginais..* s.l.:s.n.

Ambiente, A. P. d., 2012. *PLANO DE AÇÃO DE PROTEÇÃO E VALORIZAÇÃO DO LITORAL.* s.l.:s.n.

Araújo, M. d. A., s.d. *O LITORAL NORTE DE PORTUGAL E OS DEPÓSITOS CENEOZÓICOS DA REGIÃO DO PORTO: A TECTÓNICA E O EUTATISMO.* s.l.:s.n.

AVILEZ-VALENTE, P., 2007. *ELEMENTOS FINITOS PARA ONDAS NÃO LINEARES E DISPERSIVAS.* FEUP, s.n.

Balaji, R., 2010. *Performance of Porous Breakwaters: Application of the BOUSS-2D Model.* s.l.:s.n.

Bribiesca, J. L. S., s.d. *Compendio de Hidráulica Marítima.* Instituto de Ingeniería de la UNAM: s.n.

Delft3D-FLOW, 2011. *User Manual - Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments.* Rotterdamseweg 185: Deltares.

Deltares, R. a., s.d. *Eco-engineering in the Netherlands.* s.l.:s.n.

Demirbilek, O. G. N. a. Z., 2001. *BOUSS-2D: A Boussinesq Wave Model for Coastal Regions and Harbors.* s.l.:US Army Corps of Engineers®.

E. Loureiro, H. G. a. J. L. S. P., s.d. *MORPHODYNAMICS OF THE CÁVADO ESTUARY INLET (NW PORTUGAL).* s.l.:s.n.

F. Grasso, H. M. a. E. B., 2010. *Sediment transport associated with morphological beach changes forced by irregular asymmetric, skewed waves.* s.l.:s.n.

F.SHRODER, J., s.d. *TREATISE ON GEOMORPHOLOGY.* s.l.:AP.

Ferreira, M. J., 1997. *O LITORAL PORTUGUÊS: CONTRIBUTOS PARA UMA "GEOGRAFIA DAS REGIÕES LITORAIS"*. s.l.:s.n.

Fletcher, D. E. a. C. H., 2012. Longshore Sediment Transport Rates on a Reef-Fronted Beach: Field Data and Empirical Models. *Journal of Coastal Research*.

FRANCISCO TAVEIRA-PINTO, F. V.-G. ., R. S. ., L. D. N., 2007. *O NOVO SISTEMA DE GERAÇÃO E AQUISIÇÃO DE AGITAÇÃO MARÍTIMA*. Porto, Feup.

GARCIA, G. E., 2008. *IMPLEMENTAÇÃO DE MODELO NUMÉRICO PARA AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NO RESERVATÓRIO DE ITAIPU*. Curitiba: s.n.

H.Granja, et al., s.d. *INTEGRAÇÃO DE METODOLOGIAS NO ESTABELECIMENTO DE UM PROGRAMA DE MONITORIZAÇÃO COSTEIRA PARA AVALIAÇÃO DE RISCO*. s.l.:s.n.

João A. SANTOS, R. C. B. C. J. E. F. F., 2005. *PREVISÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA NO ESTUÁRIO DO TEJO*. Lisboa, s.n.

João Ribeiro, A. S. J. C. L., s.d. *MODELOS OPERACIONAIS DE PREVISÃO DA AGITAÇÃO PARA SUPORTE À NAVEGAÇÃO E À GESTÃO DE RISCOS*. s.l.:s.n.

Kamphuis, J., s.d. *INTRODUCTION TO COASTAL ENGINEERING AND MANAGEMENT*. s.l.:World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd..

L. Pinheiro, C. J. F. J. A. S. L. F. M. W., s.d. *Finite Element Model for Wave Propagation Near Shore Based on Extended Boussinesq Equations..* s.l.:s.n.

Liu, P. J. L. & P. L.-F., s.d. *Modeling Wave Generation, Evolution, and Interaction with Depth-Integrated, Dispersive Wave Equations COULWAVE Code Manual*. s.l.:s.n.

Loureiro, E. J. S. M., s.d. *INDICADORES GEOMORFOLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DA TENDÊNCIA EVOLUTIVA DA ZONA COSTEIRA*. s.l.:s.n.

Lourenço, A. M. P., 2012. *Estudo do Transporte Sedimentar por Efeito da Ondulação*. Universidade de Aveiro: s.n.

Ltd., R., 2007. *Submersible Data Logger User's Manual*. s.l.:s.n.

Maria de Fátima Alves de Matos, C. J. E. F. , V. E. A. , C. S., 2013. Análise Comparativa da Agitação Obtida com o Modelo Numérico (SWAN) na Modelagem de Ondas do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte, Brasil e Dados de Campo. *Revista da Gestão Costeira Integrada*.

Mata-Lima, P. D. H., 2010. *NOÇÕES DE HIDRÁULICA MARÍTIMA E PROTEÇÃO COSTEIRA*. Madeira: s.n.

OLIVEIRA, H. A. D., 2009. *APLICAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO HIDRODINÂMICO DELFT3D NA BAÍA DE GUANABARA*. Santos: s.n.

Paulo R.F. Teixeira, C. J. F. L. P. & T. O., 2010. *Análise comparativa dos modelos não-lineares COULWAVE e BOUSS3W aplicados à simulação da rebentação*. Rio Grande/RS, s.n.

Pereira, A. I. d. S., 2008. *Modelação da Agitação Marítima em Zonas Costeiras*. Lisboa: s.n.

RBR, 2011. *Tide & Wave Recorders*. s.l.:s.n.

Ribeiro, M. S. A., 2011. *DINÂMICA SEDIMENTAR NA ZONA DE REBENTAÇÃO*. s.l.:s.n.

Rijn, L. C. V., 2003. *Modelling of Sand Transport in DELFT 3D*. s.l.:s.n.

Rui Capitão, C. F., 2011. Análise comparativa entre estimativas do modelo SWAN e medições de agitação marítima efectuadas na Praia da Amoreira. *Revista da Gestão Costeira Integrada*.

Santos, D. P. d. P., 2012. *MODELAÇÃO DE PROCESSOS HIDRODINÂMICOS DAS ONDAS NA ZONA COSTEIRA*. Universidade de Aveiro: s.n.

Silva, G. d. C. & Alfredini, P., s.d. *ANÁLISE COMPARATIVA DE MODELOS DE PROPAGAÇÃO DE ONDA APLICADA À ENGENHARIA COSTEIRA E PORTUÁRIA.* s.l., s.n.

Silveira, F. L. d., 2005. *PROPAGAÇÃO DAS ONDAS MARÍTIMAS E DOS TSUNAMI.* Porto Alegre: s.n.

Sousa, G. A. C. F. d., 2009. *Avaliação da concentração de sedimentos na zona de rebentação.* Universidade de Aveiro: s.n.

Stewart, R. H., 2008. *Introduction To Physical Oceanography.* s.l.:s.n.

Veiga, F. A. et al., 2005. *PADRÕES DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS BASEADO EM TRÊS PROGRAMAS GERADORES DE VETORES DE TENDENCIAS DE TRANSPORTE A PARTIR DE PARAMETROS GRANULOMÉTRICOS NA PORÇÃO SUL DO DELTA DE DESEMBOCADURA DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ.* s.l.:UFPR.

VIEIRA, J. L. S. P. & J. M. P., s.d. *Mathematical modelling of salt water intrusion in a Northern Portuguese estuary.* s.l.:s.n.

6.1 Recursos Web

(Dias, F. & P. 1., 2005. *CAUSAS DA EROSÃO COSTEIRA.* [Online] Available at: w3.ualg.pt/~jdias/JAD/ebooks [Acedido em 23 Fevereiro 2014].

Ambiente, A. P. d., s.d. *Ambiente Portugal.* [Online] [Acedido em Fevereiro 2014].

Anon., s.d. *Hidrográfico Marinha-Portugal.* [Online] Available at: <http://www.hidrografico.pt/agitacao-maritima.php> [Acedido em 15 Fevereiro 2014].

Anon., s.d. *Portal da Água.* [Online] Available at: <http://portaldaagua.inag.pt/PT/InfoUtilizador/AguaNatureza/Riscos/Ameacas/Pages/Ris>

[cosErosaoPortugal.aspx](#)

[Acedido em 16 Fevereiro 2014].

APRH, 2007. *Associação Portuguesa dos recursos hídricos*. [Online]

Available at: <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/mare.html>

[Acedido em 19 Fevereiro 2014].

Fortunato, A., 2011. *LNEC*. [Online]

Available at: www.lnec.pt/organizacao/dha/nec

[Acedido em 13 Fevereiro 2014].

Gomes, A. S., 2003. *Universidade Federal Fluminense*. [Online]

[Acedido em Abril 2014].

Machado, E., s.d. *A dinâmica litoral*. [Online]

Available at: <http://www.prof2000.pt/users/ildamac/geo/litora.htm>

[Acedido em 20 Fevereiro 2014].

MARETEC Marine Environment & Technology Center, 2012.

<http://www.maretec.org/>. [Online]

Available at:

http://www.maretec.mohid.com/Estuarios/MenuEstuarios/Descri%C3%A7%C3%A3o/descricao_Douro.htm

[Acedido em 17 Fevereiro 2014].

Oberrecht, K., 2004. *Sediment Transport and Deposition*. [Online]

Available at: <http://www.oregon.gov/DSL/SSNERR/docs/EFS/EFS32sediment.pdf>

[Acedido em 20 Fevereiro 2014].

7 Anexos

Tabela 11 Registro TWR-2050, dia 24/04/2014

Data	Hora	Profundidade	Hs	Ts	Hmax	Tmax	Energia
Data	Hora	m	m	Segundos	m	Segundos	J/m2
24/04/2014	07:00:00	0,192					
24/04/2014	07:10:40	0,218					
24/04/2014	07:21:20	0,254					
24/04/2014	07:32:00	0,262					
24/04/2014	07:42:40	0,264					
24/04/2014	07:53:20	0,263					
24/04/2014	08:04:00	0,262					
24/04/2014	08:14:40	0,259					
24/04/2014	08:25:20	0,259					
24/04/2014	08:36:00	0,251					
24/04/2014	08:46:40	0,261			0,324	7,750	19,068
24/04/2014	08:57:20	0,270			0,263	17,750	22,255
24/04/2014	09:08:00	0,296			0,444	6,000	64,799
24/04/2014	09:18:40	0,326			0,678	0,500	87,743
24/04/2014	09:29:20	0,363			0,448	15,500	146,823
24/04/2014	09:40:00	0,431			0,886	1,000	306,029
24/04/2014	09:50:40	0,537			1,008	25,250	418,761
24/04/2014	10:01:20	0,595			0,904	14,250	268,549
24/04/2014	10:12:00	0,636			0,956	30,750	263,336
24/04/2014	10:22:40	0,678			0,849	26,750	334,159
24/04/2014	10:33:20	0,735	0,467	8,056	0,635	13,000	245,167
24/04/2014	10:54:40	0,826	0,555	9,389	0,714	7,500	351,058
24/04/2014	11:05:20	0,886	0,655	7,675	0,881	7,750	329,436
24/04/2014	11:16:00	0,901	0,687	9,125	0,782	4,750	454,519
24/04/2014	11:48:00	0,938	0,643	7,700	1,015	17,500	537,128
24/04/2014	11:58:40	0,976	0,604	6,833	0,704	18,500	298,351
24/04/2014	12:30:40	0,947	0,715	9,781	1,102	15,000	448,369
24/04/2014	12:41:20	0,904	0,591	8,528	0,730	11,750	317,727
24/04/2014	12:52:00	0,885	0,677	9,906	1,427	16,250	497,360
24/04/2014	13:02:40	0,845	0,430	9,813	0,867	8,250	400,101
24/04/2014	13:13:20	0,783			0,919	20,500	453,680
24/04/2014	13:24:00	0,680			0,742	16,500	259,529
24/04/2014	13:34:40	0,668			1,081	17,000	317,854
24/04/2014	13:45:20	0,589			0,559	28,000	178,472
24/04/2014	13:56:00	0,558			0,811	18,000	351,674
24/04/2014	14:06:40	0,458			0,662	14,000	217,774
24/04/2014	14:17:20	0,424			0,575	14,750	211,312
24/04/2014	14:28:00	0,398			0,445	10,250	151,069
24/04/2014	14:38:40	0,338			0,486	25,000	123,024
24/04/2014	14:49:20	0,287			0,280	4,750	23,421
24/04/2014	15:00:00	0,297			0,582	8,000	57,039
24/04/2014	15:10:40	0,273			0,483	0,500	11,330

24/04/2014	15:21:20	0,265					
24/04/2014	15:32:00	0,261					
24/04/2014	15:42:40	0,260					
24/04/2014	15:53:20	0,260					
24/04/2014	16:04:00	0,259					
24/04/2014	16:14:40	0,261					
24/04/2014	16:25:20	0,267					
24/04/2014	16:36:00	0,277					
24/04/2014	16:46:40	0,281					
24/04/2014	16:57:20	0,287					
24/04/2014	17:08:00	0,280					
24/04/2014	17:18:40	0,261					
24/04/2014	17:29:20	0,254					

Tabela 12 Registo TWR-2050, dia 28/04/2014

Data	Horas	Profundidade	Hs	Ts	Hmax	Tmax	Energia
Data	Horas	m	m	Segundos	m	Segundos	J/m2
28/04/2014	07:00:00	0,569					
28/04/2014	07:10:40	0,568					
28/04/2014	07:21:20	0,569					
28/04/2014	07:32:00	0,570					
28/04/2014	07:42:40	0,571					
28/04/2014	07:53:20	0,571					
28/04/2014	08:04:00	0,571					
28/04/2014	08:14:40	0,570					
28/04/2014	08:25:20	0,576					
28/04/2014	08:36:00	0,549					
28/04/2014	08:46:40	0,573					
28/04/2014	08:57:20	0,594					
28/04/2014	09:08:00	0,597					
28/04/2014	09:18:40	0,596					
28/04/2014	09:29:20	0,597					
28/04/2014	09:40:00	0,594					
28/04/2014	09:50:40	0,594					
28/04/2014	10:01:20	0,592					
28/04/2014	10:12:00	0,595					
28/04/2014	10:22:40	0,595					
28/04/2014	10:33:20	0,596					
28/04/2014	10:44:00	0,595					
28/04/2014	10:54:40	0,594					
28/04/2014	11:05:20	0,595					
28/04/2014	11:16:00	0,595					
28/04/2014	11:26:40	0,587					
28/04/2014	11:37:20	0,642			0,353	3,250	44,276
28/04/2014	11:48:00	0,721			0,414	6,500	77,546
28/04/2014	11:58:40	0,867	0,345	3,583	0,482	3,250	90,522

28/04/2014	12:09:20	0,999	0,375	3,750	0,525	3,750	127,461
28/04/2014	12:20:00	1,109	0,405	4,673	0,502	9,250	127,117
28/04/2014	12:30:40	1,251	0,416	4,482	0,587	3,500	152,576
28/04/2014	12:41:20	1,376	0,564	4,188	0,751	8,500	213,540
28/04/2014	12:52:00	1,482	0,524	4,667	0,707	2,750	215,912
28/04/2014	13:02:40	1,616	0,653	4,227	0,834	3,750	286,784
28/04/2014	13:13:20	1,711	0,647	5,200	0,929	7,750	308,107
28/04/2014	13:24:00	1,825	0,658	5,318	0,908	3,250	363,959
28/04/2014	13:34:40	1,966	0,742	5,250	1,069	3,500	386,196
28/04/2014	13:45:20	2,058	0,974	6,125	1,307	10,250	482,733
28/04/2014	13:56:00	2,141	0,687	6,000	1,138	2,750	377,593
28/04/2014	14:06:40	2,215	0,722	6,583	0,886	8,750	369,853
28/04/2014	14:17:20	2,289	0,915	7,917	1,008	6,250	524,756
28/04/2014	14:28:00	2,346	0,693	6,500	1,160	7,250	419,140
28/04/2014	14:38:40	2,389	0,695	6,194	0,882	3,000	361,173
28/04/2014	14:49:20	2,430	1,014	5,861	1,347	7,000	757,752
28/04/2014	15:00:00	2,454	0,959	7,781	1,183	12,250	572,245
28/04/2014	15:10:40	2,479	0,897	9,292	1,168	10,000	520,137
28/04/2014	15:21:20	2,465	1,075	7,969	1,463	12,250	720,973
28/04/2014	15:32:00	2,458	0,874	7,214	1,029	7,250	561,298
28/04/2014	15:42:40	2,443	0,705	7,821	1,046	7,500	377,692
28/04/2014	15:53:20	2,397	0,921	9,542	1,018	15,000	600,568
28/04/2014	16:04:00	2,369	1,016	6,938	1,362	6,500	616,658
28/04/2014	16:14:40	2,304	0,749	8,357	0,958	9,500	361,628
28/04/2014	16:25:20	2,235	0,713	6,833	1,043	7,250	375,508
28/04/2014	16:36:00	2,151	0,966	9,250	1,345	9,500	510,924
28/04/2014	16:46:40	2,050	0,940	6,406	1,251	9,250	517,324
28/04/2014	16:57:20	1,961	0,880	7,175	1,156	9,750	484,811
28/04/2014	17:08:00	1,866	0,618	4,955	0,886	4,500	347,575
28/04/2014	17:18:40	1,750	0,734	5,100	1,005	4,000	364,421
28/04/2014	17:29:20	1,644	0,650	5,950	0,901	2,500	332,702
28/04/2014	17:40:00	1,542	0,660	3,462	0,938	4,000	327,511
28/04/2014	17:50:40	1,379	0,560	4,083	0,761	3,750	228,797
28/04/2014	18:01:20	1,248	0,514	6,028	0,739	8,500	173,419
28/04/2014	18:12:00	1,129	0,441	3,885	0,607	11,500	167,911
28/04/2014	18:22:40	0,993	0,367	3,734	0,557	3,000	110,689
28/04/2014	18:33:20	0,858	0,316	4,250	0,459	6,000	84,194
28/04/2014	18:44:00	0,728			0,418	2,750	82,368
28/04/2014	18:54:40	0,627			0,365	9,750	42,553
28/04/2014	19:05:20	0,581			0,240	0,500	
28/04/2014	19:16:00	0,579					
28/04/2014	19:26:40	0,574					
28/04/2014	19:37:20	0,582					
28/04/2014	19:48:00	0,579					
28/04/2014	19:58:40	0,563					

Tabela 13 Registro TWR-2050, dia 13/05/2014

Data	Horas	Profundidade	Hs	Ts	Hmax	Tmax	Energia
Data	Horas	m	m	Segundos	m	Segundos	J/m ²
13/05/2014	08:00:00	0,546					1,448
13/05/2014	08:10:40	0,594					0,337
13/05/2014	08:21:20	0,598					0,102
13/05/2014	08:32:00	0,611					0,085
13/05/2014	08:42:40	0,620					0,002
13/05/2014	08:53:20	0,618					0,060
13/05/2014	09:04:00	0,618					0,023
13/05/2014	09:14:40	0,616					0,035
13/05/2014	09:25:20	0,616					0,008
13/05/2014	09:36:00	0,615					0,007
13/05/2014	09:46:40	0,615					0,013
13/05/2014	09:57:20	0,616					0,005
13/05/2014	10:08:00	0,616					0,009
13/05/2014	10:18:40	0,617					0,003
13/05/2014	10:29:20	0,617					0,009
13/05/2014	10:40:00	0,617					0,010
13/05/2014	10:50:40	0,618					0,008
13/05/2014	11:01:20	0,617					0,004
13/05/2014	11:12:00	0,612			0,118	0,500	1,111
13/05/2014	11:22:40	0,629			0,348	0,750	24,676
13/05/2014	11:33:20	0,700			0,411	2,500	72,025
13/05/2014	11:44:00	0,839			0,574	2,750	119,651
13/05/2014	11:54:40	0,940	0,428	3,118	0,588	3,750	146,995
13/05/2014	12:05:20	1,068	0,457	3,500	0,603	3,250	166,961
13/05/2014	12:16:00	1,159	0,519	3,732	0,873	3,250	181,265
13/05/2014	12:26:40	1,288	0,600	3,964	0,829	8,750	276,920
13/05/2014	12:37:20	1,386	0,583	3,750	0,662	3,750	253,879
13/05/2014	12:48:00	1,491	0,652	4,179	0,875	4,250	338,532
13/05/2014	12:58:40	1,604	0,714	3,808	0,961	5,000	430,846
13/05/2014	13:09:20	1,677	0,784	4,104	1,171	7,500	415,485
13/05/2014	13:20:00	1,770	0,833	4,796	0,964	5,750	496,295
13/05/2014	13:30:40	1,855	0,877	4,208	1,283	3,250	605,533
13/05/2014	13:41:20	1,905	0,857	5,500	1,028	6,000	556,639
13/05/2014	13:52:00	1,984	0,944	5,361	1,101	9,000	677,269
13/05/2014	14:02:40	2,029	1,009	5,182	1,207	7,000	753,961
13/05/2014	14:13:20	2,087	0,861	4,625	1,302	4,500	527,637
13/05/2014	14:24:00	2,116	0,807	5,273	1,066	4,500	546,565
13/05/2014	14:34:40	2,139	0,857	3,841	1,198	2,750	580,954
13/05/2014	14:45:20	2,155	0,985	5,546	1,298	6,750	823,706
13/05/2014	14:56:00	2,169	0,966	4,458	1,417	2,500	666,383
13/05/2014	15:06:40	2,142	0,898	5,000	1,289	3,250	573,329
13/05/2014	15:17:20	2,121	1,016	4,700	1,356	2,750	712,790
13/05/2014	15:28:00	2,082	0,921	5,400	1,064	3,250	604,133
13/05/2014	15:38:40	2,048	0,797	3,885	1,215	2,750	553,718
13/05/2014	15:49:20	2,005	0,856	4,727	1,110	2,500	531,658

13/05/2014	16:00:00	1,926	0,919	4,861	1,016	8,750	601,890
13/05/2014	16:10:40	1,876	0,834	4,886	1,057	4,750	559,088
13/05/2014	16:21:20	1,817	0,735	3,813	1,032	3,000	428,210
13/05/2014	16:32:00	1,706	0,798	4,542	1,327	3,750	500,760
13/05/2014	16:42:40	1,625	0,740	4,083	1,015	4,500	407,766
13/05/2014	16:53:20	1,513	0,693	4,229	0,834	3,250	364,896
13/05/2014	17:04:00	1,436	0,738	4,385	0,955	3,750	385,833
13/05/2014	17:14:40	1,326	0,622	4,942	0,847	8,500	279,107
13/05/2014	17:25:20	1,224	0,566	4,667	0,735	8,000	244,613
13/05/2014	17:36:00	1,097	0,517	3,484	0,628	1,500	220,652
13/05/2014	17:46:40	0,956			0,651	2,500	193,495
13/05/2014	17:57:20	0,866			0,532	2,250	114,712
13/05/2014	18:08:00	0,765			0,530	2,000	89,492
13/05/2014	18:18:40	0,655			0,373	2,000	53,404
13/05/2014	18:29:20	0,589			0,239	3,500	10,924
13/05/2014	18:40:00	0,576					0,138
13/05/2014	18:50:40	0,579					
13/05/2014	19:01:20	0,586					
13/05/2014	19:12:00	0,576					
13/05/2014	19:22:40	0,566					
13/05/2014	19:33:20	0,566					
13/05/2014	19:44:00	0,556					
13/05/2014	19:54:40	0,563					0,124
13/05/2014	20:05:20	0,464					
13/05/2014	20:16:00	0,452					

Tabela 14 Registro TWR-2050, dia 16/05/2014

Data	Hora	Profundidade	Hs	Ts	Hmax	Tmax	Energia
Data	Hora	m	m	sec	m	sec	J/m2
16/05/2014	10:00:00	0,544					
16/05/2014	10:10:40	0,549					
16/05/2014	10:21:20	0,552					
16/05/2014	10:32:00	0,553					
16/05/2014	10:42:40	0,555					
16/05/2014	10:53:20	0,558					
16/05/2014	11:04:00	0,557					
16/05/2014	11:14:40	0,556					
16/05/2014	11:25:20	0,557					
16/05/2014	11:36:00	0,558					
16/05/2014	11:46:40	0,557					
16/05/2014	11:57:20	0,557					
16/05/2014	12:08:00	0,557					
16/05/2014	12:18:40	0,557					
16/05/2014	12:29:20	0,555					
16/05/2014	12:40:00	0,552					
16/05/2014	12:50:40	0,546					

16/05/2014	13:01:20	0,543					
16/05/2014	13:12:00	0,581			0,233	5,750	29,044
16/05/2014	13:22:40	0,697			0,471	4,250	74,164
16/05/2014	13:33:20	0,817	0,310	3,672	0,445	2,750	91,996
16/05/2014	13:44:00	0,955	0,451	3,523	0,539	1,750	169,668
16/05/2014	13:54:40	1,039	0,451	5,325	0,645	2,500	157,009
16/05/2014	14:05:20	1,230	0,515	4,136	0,621	2,250	219,122
16/05/2014	14:16:00	1,371	0,533	3,896	0,793	3,500	247,378
16/05/2014	14:26:40	1,519	0,536	5,046	0,757	2,250	250,767
16/05/2014	14:37:20	1,590	0,514	4,923	0,744	3,750	242,577
16/05/2014	14:48:00	1,728	0,768	4,292	0,923	2,500	404,841
16/05/2014	14:58:40	1,819	0,673	4,675	1,039	3,000	344,635
16/05/2014	15:09:20	1,938	0,581	3,813	0,812	3,750	305,611
16/05/2014	15:20:00	2,073	0,666	8,469	0,741	6,500	371,265
16/05/2014	15:30:40	2,156	0,831	6,344	1,016	4,500	526,055
16/05/2014	15:41:20	2,235	1,069	7,679	1,487	3,250	857,542
16/05/2014	15:52:00	2,261	0,556	4,458	0,847	2,750	375,411
16/05/2014	16:02:40	2,369	0,903	9,214	1,051	6,750	568,218
16/05/2014	16:13:20	2,405	0,575	5,700	0,728	10,000	326,624
16/05/2014	16:24:00	2,472	0,753	7,139	1,161	11,500	463,996
16/05/2014	16:34:40	2,512	0,604	7,344	0,894	6,500	329,362
16/05/2014	16:45:20	2,508	0,693	7,875	0,831	4,250	359,805
16/05/2014	16:56:00	2,537	0,799	5,964	1,018	5,000	441,374
16/05/2014	17:06:40	2,478	0,919	6,938	1,292	4,750	663,565
16/05/2014	17:17:20	2,461	0,636	5,722	0,901	6,750	326,711
16/05/2014	17:28:00	2,432	0,869	5,700	1,375	3,250	656,380
16/05/2014	17:38:40	2,414	0,616	6,406	0,804	3,250	336,745
16/05/2014	17:49:20	2,367	0,607	7,813	0,971	11,750	291,321
16/05/2014	18:00:00	2,258	0,814	5,813	1,152	3,500	552,478
16/05/2014	18:10:40	2,181	0,681	6,444	0,888	5,750	381,677
16/05/2014	18:21:20	2,089	0,726	6,050	0,969	5,250	441,121
16/05/2014	18:32:00	2,013	0,620	4,500	0,968	8,750	319,223
16/05/2014	18:42:40	1,898	0,799	4,525	1,044	4,750	478,938
16/05/2014	18:53:20	1,796	0,730	4,386	0,966	2,250	416,858
16/05/2014	19:04:00	1,660	0,766	5,250	0,883	3,750	436,107
16/05/2014	19:14:40	1,530	0,627	5,146	0,920	3,250	297,880
16/05/2014	19:25:20	1,396	0,681	3,979	0,937	2,000	348,605
16/05/2014	19:36:00	1,279	0,539	6,083	0,741	2,250	223,097
16/05/2014	19:46:40	1,111	0,496	4,479	0,670	3,000	193,746
16/05/2014	19:57:20	0,982	0,358	4,708	0,517	2,750	119,326
16/05/2014	20:08:00	0,859			0,482	11,250	102,039
16/05/2014	20:18:40	0,719			0,378	3,500	59,076
16/05/2014	20:29:20	0,592			0,321	2,750	47,263
16/05/2014	20:40:00	0,509			0,209	2,250	8,051
16/05/2014	20:50:40	0,497					
16/05/2014	21:01:20	0,504				8,750	
16/05/2014	21:12:00	0,484					

Tabela 15 Registo Boia Porto de Leixões, dia 24/04/2014

Dia	Hora	Hs(m)	Hmax(m)	Ts(s)	Tmax(s)
24/04/2014	00:00	2,740	3,700	12,000	13,300
24/04/2014	03:00	2,630	4,770	11,400	10,900
24/04/2014	06:00	2,980	5,090	11,900	13,300
24/04/2014	09:00	3,130	4,900	11,100	10,900
24/04/2014	12:00	2,610	3,860	10,300	10,900
24/04/2014	15:00	2,540	4,730	10,200	10,200
24/04/2014	18:00	2,420	4,160	9,800	10,900
24/04/2014	21:00	2,450	4,120	9,500	12,500

Tabela 16 Registo Boia Porto de Leixões, dia 28/04/2014

Dia	Hora	Hs	Hmax	Ts	Tmax
28/04/2014	00:00	1,890	3,100	9,200	8,600
28/04/2014	03:00	1,950	2,760	9,500	10,200
28/04/2014	06:00	1,980	3,020	9,100	8,600
28/04/2014	09:00	1,800	2,640	9,100	9,400
28/04/2014	12:00	1,410	2,530	8,800	8,600
28/04/2014	15:00	1,500	2,500	9,100	9,400
28/04/2014	18:00	1,410	2,480	8,900	8,600
28/04/2014	21:00	1,580	2,480	8,600	9,400

Tabela 17 Registo Boia Porto de Leixões, dia 13/05/2014

Dia	Hora	Hs	Hmax	Ts	Tmax
13/05/2014	03:00	2,030	3,100	7,100	7,000
13/05/2014	06:00	2,060	3,460	6,900	8,600
13/05/2014	09:00	1,920	3,350	7,000	7,000
13/05/2014	12:00	2,120	3,770	6,700	7,000
13/05/2014	15:00	2,160	3,670	6,500	5,500
13/05/2014	18:00	2,260	3,520	6,800	7,000
13/05/2014	21:00	2,140	3,360	7,400	8,600

Tabela 18 Registo Boia Porto de Leixões, dia 16/05/2014

Dia	Hora	Hs	Hmax	Ts	Tmax
16/05/2014	00:00	0,930	1,470	9,100	10,900
16/05/2014	03:00	0,870	1,390	10,200	10,900
16/05/2014	06:00	1,120	1,880	11,400	10,200
16/05/2014	09:00	1,020	1,480	10,900	12,500
16/05/2014	12:00	1,090	1,850	10,900	10,200
16/05/2014	15:00	1,100	1,940	10,700	10,900
16/05/2014	18:00	1,060	2,020	9,300	10,900
16/05/2014	21:00	1,010	1,590	10,300	11,700